

# *Cambio climático (ascenso del nivel del mar, inundaciones y salinidad) y vulnerabilidad de las comunidades residentes en la cuenca hidrográfica del Río Piedras: San Juan, Puerto Rico*

José Seguinot Barbosa

## **Resumen:**

El propósito principal de este estudio fue medir el impacto del cambio climático (ascenso (ANM) del nivel del mar, inundaciones (IN) y salinidad (SAL)) en las diferentes comunidades de la cuenca del río Piedras, principal cuerpo de agua de la ciudad de San Juan, Puerto Rico. También se determinó mediante una encuesta la percepción de los residentes sobre el ANM, la salinidad y las inundaciones y los efectos de éstos parámetros sobre su salud, propiedad y calidad de vida. Se contrastó y modeló en cada comunidad la situación percibida respecto a la realidad existente. Para estos análisis fueron utilizados el modelo de elevación Digital (DEM) y el gráfico de líneas digitales (DLG) creado por el USGS, así como otros datos topográficos recogidos en el campo con un Sistema de Posición Global (SPG) y datos procedentes de un muestreo de agua para salinidad, conductividad, PH, oxígeno disuelto, granulometría y salinidad del suelo. También se crearon modelos del ANM y se compararon con los realizados por NASA. Los estudios de vulnerabilidad se llevaron a cabo utilizando interpolaciones, regresiones espaciales y análisis bivariado. Los análisis fueron realizados mediante el uso de los programas de ArcGIS, Excel, EplInfo y Stata. Las comunidades con un mayor índice de vulnerabilidad al cambio climático (CC) son: Ocean Park y Reparto Metropolitano. Las comunidades con un menor índice de vulnerabilidad al CC son: La Sierra y Las Curías. Las comunidades con un mayor índice de vulnerabilidad al ANM son: Ocean Park y el Viejo San Juan. Las comunidades con un menor índice de vulnerabilidad al ANM son: Las Curías y La Sierra.

---

**Palabras clave:** Cambio climático/ Vulnerabilidad/ Cuenca del río Piedras/ Sistemas de Información Geográfica (SIG).

## **Abstract**

The main purpose of this study was to measure the effect of climate change (sea level rise, flooding and salinity) in several communities of the río Piedras River watershed. I also determined the perceptions of residents about the effects of sea level rise (SLR), salinity and floods over their health, property, and quality of life. I tested and modeled the perceived situation against the existing reality for each community. For this analysis I used Digital Elevation Model and Digital Line Graph created by the USGS and other survey data collected in the field with a Global Positioning System, as well as data on soil salinity and particle size from water sampling for salinity, conductivity, pH, and dissolved oxygen. Models were also created for SLR and were compared with those made by NASA. Vulnerability studies were carried out using interpolation, spatial regression, and multivariable analysis. These analyses were performed using ArcGIS, Excel, Stata, and EPINFO software programs. Communities with the highest level of vulnerability to climate change were: Ocean Park and Reparto Metropolitano. Communities with a lower index of vulnerability to climate change were: La Sierra and Las Curías. Communities with a higher index of vulnerability to SLR were: Ocean Park and Old San Juan. Communities with a lower index of vulnerability to SLR were: Las Curías and La Sierra.

**Keywords:** Climate change/ Vulnerability/ Río Piedras River Watershed/ Geographic Information Systems.

---

**José Seguinot Barbosa** (jose.seguinot@upr.edu), Departamento de Salud Ambiental, Recinto de Ciencias Médicas, Universidad de Puerto Rico. Apartado 365067, San Juan, PR 00936-5067.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este proyecto socio-ambiental surge como parte de la implantación de la propuesta aprobada bajo el programa ULTRA (Urban long Term Research Area) y auspiciada por la National Science Foundation (NSF) y el United States Forest Service (USFS) titulada en inglés: *San Juan, Puerto Rico: Social-Ecological System Change, Vulnerability, and the Future of a Tropical City*. Esta propuesta pretendió abordar dos tipos de preguntas fundamentales en la investigación socio-ecológica. El primer grupo de preguntas plantea, ¿Cómo los factores biofísicos, económicos e institucionales afectan la vulnerabilidad natural y humana dentro del sistema de la cuenca hidrográfica del río Piedras, ¿Cómo éstos han cambiado espacial y temporalmente durante los últimos setenta años? y ¿En qué medida estos factores de vulnerabilidad han influenciado la sostenibilidad de la ciudad de San Juan?

El segundo grupo de preguntas cuestiona lo siguiente: ¿Cuáles son los diversos escenarios e indicadores para estudiar el desarrollo futuro de la Cuenca del río Piedras? ¿Qué políticas públicas y redes organizacionales los apoyan, y hasta qué punto éstos influyen la vulnerabilidad y capacidad adaptativa para la sostenibilidad urbana? Para abordar estas preguntas se han establecido dos enfoques primordiales: intensivo y extensivo. El enfoque extensivo explora la relación espacial y temporal entre la infraestructura (gris), el nivel social, la gobernanza y los procesos bio-físicos. Los estudios intensivos pretenden coleccionar información primaria sobre las prácticas de manejo, las instituciones sociales y los elementos socio-económicos, culturales y ecológicos a lo largo de un gradiente de influencia humana en la cuenca y sub-cuencas del río Piedras.

La hipótesis planteada bajo el primer grupo de preguntas considera que las personas y comunidades residentes en la Cuenca del río Piedras más vulnerables a los cambios socio-económicos y ambientales tales como inundaciones y los cambios en las estructuras y funciones de los ecosistemas son aquellos que constituyen el grupo social con menos capacidad económica de acuerdo a su ingreso, nivel educativo y edad (Pontius 2001, Seguinot-Barbosa 1996, Giusti 2010, Lugo 2002). Esta hipótesis sirve como punto de partida para este estudio donde se abordan los efectos del cambio climático (ascenso del nivel del mar, inundaciones y salinidad) en San Juan, Puerto Rico. Para corroborar la hipótesis planteada se realizó un estudio transversal basado en una encuesta sobre la percepción poblacional acerca

de los riesgos a inundaciones, al ascenso del nivel del mar y la salinidad en varias comunidades localizadas dentro y fuera de la cuenca hidrográfica del río Piedras.

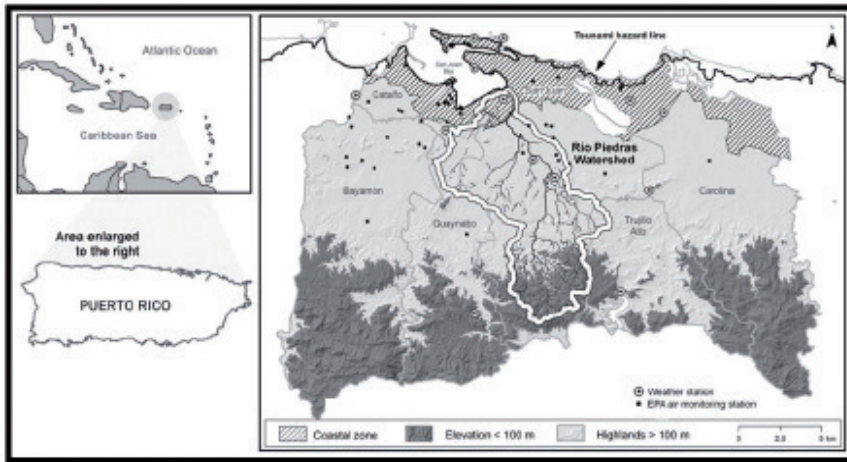
El objetivo central del estudio fue medir la vulnerabilidad de las comunidades al cambio climático. Para ello definimos las personas vulnerables como aquellas que por distintos motivos se sienten susceptibles a una situación de peligro. La vulnerabilidad social es aquella que se produce como consecuencia de determinantes sociales como la edad, la salud, el ingreso o la distancia al centro del peligro. Una zona vulnerable es aquella que aparece expuesta a un fenómeno con potencialidad destructora. Por tanto la vulnerabilidad es igual a la suma del peligro o agente dañino más el nivel de susceptibilidad del individuo o comunidad (factores sociales y de infraestructura).

La percepción del cambio climático varía según las condiciones sociales y económicas de una determinada población. La percepción, por tanto se define como la acción y efecto de percibir (recibir por uno de los sentidos las imágenes, impresiones o sensaciones externas, o comprender y conocer algo). El cambio climático para efectos de este estudio se define como la modificación en los elementos del clima que ha tenido lugar respecto a su escala local, regional y/o global causada por factores naturales y/o humanos. Los elementos del cambio climático que estudia este trabajo son el ascenso del nivel del mar, las inundaciones y la salinidad. Por ascenso del nivel del mar (ANM) se entiende como la elevación del mar sobre su nivel medio registrado por un mareógrafo en un intervalo de tiempo. La inundación (IN) se define como la ocupación por el agua de zonas o áreas que en condiciones normales se encuentran secas. Se producen debido al efecto del ascenso temporal del nivel de un río, lago u otro cuerpo de agua y la salinidad (SAL) se refiere a la presencia excesiva de sales en el suelo, aire, agua o vegetación. Se mide por la cantidad de sólido disuelto en un kilogramo de agua de mar.

Para estudiar la situación real y la percibida por la población respecto a estos elementos de cambio climático se recurrió a dos herramientas estadísticas espaciales provista por los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Ellas fueron la interpolación y la regresión espacial. La regresión es un método de análisis de los datos que sirve para poner en evidencia las relaciones que existen entre diversas variables. La interpolación, según el sub-campo matemático del análisis numérico, comprende la construcción de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos.

El área de estudio comprendió la cuenca hidrográfica del río Piedras localizado dentro de los límites del municipio de San Juan, Puerto Rico (Mapa1). La cuenca tiene un área de unos 49 km<sup>2</sup> y está localizada dentro de dos regiones geográficas de Puerto Rico: el valle aluvial costero y las montañas húmedas del norte. El río Piedras es, junto al río Puerto Nuevo, uno de los dos ríos que existen en el municipio de San Juan. Se origina a 150 metros de elevación en el barrio Caimito y fluye al norte por espacio de 16 km pasando por los sectores de Río Piedras, Hato Rey, y Puerto Nuevo hasta su desembocadura en el Caño Martín Peña de la Bahía de San Juan (Lugo *et al*, 2011). El río Piedras constituye fundamentalmente una cuenca urbana, aunque aun presenta remanentes de estilos de vida suburbano y rural localizados mayormente en la parte alta de la cuenca en los barrios de Cupey y Caimito. El nivel de desarrollo urbano ha afectado seriamente a este río por lo que su estudio y conservación es de vital importancia dado que aun constituye una zona de alto valor ecológico social y natural para la ciudad de San Juan.

Figura 1. MAPA 1: Puerto Rico en el Caribe y mapa de los límites de la cuenca del río Piedras y sus municipios aledaños (FNC y SFF Propuesta, 2010).



## 2. DISEÑO DE LA MUESTRA

Las variables ambientales tomadas en consideración para el diseño del muestreo incluyeron la selección de puntos que estuvieran localizados dentro del canal principal del río Piedras o sus tributarios, puntos que representaran usos del suelo urbano y rural y diferentes tipos de vegetación, suelos y formaciones geológicas.

También, se buscó asegurar que los puntos de muestreo fueran representativos de los diferentes niveles topográficos (Costero  $\leq$  1 metro, Tierras bajas: de 1- 100 metros y Tierras altas:  $>$ 100 metros. En el caso específico de nuestro proyecto se deseaba estimar la prevalencia del conocimiento sobre el ascenso del nivel del mar ( $p=0.5$ ). El marco muestrear se basó en los siguientes criterios de población. 1. *Densidad*: debía ser mayor de 160 personas por Km cuadrado 2. *Cantidad* total de población: la población debía ser mayor de 1000 personas 3. *Ingreso*: el ingreso anual por familia debía ser mayor de \$1,500 dólares. Estos datos se obtuvieron de la base de datos del Censo de los Estados Unidos del año 2000, según el nivel de bloques censales.

Los análisis geográficos y espaciales se llevaron a cabo sobre la capa de información de la cuenca y sus tributarios. Para ello se levantaron las capas correspondientes a la hidrología, bloques censales, topografía, suelo, cuenca hidrográfica del río Piedras y municipios de San Juan y Guaynabo en el sistema de información geográfica ArcGIS 10.0. Allí se determinaron mediante análisis de selección de puntos y búsquedas cuáles fueron los puntos que cumplían con los criterios establecidos. Se escogieron 70 puntos de los cuáles fueron incluidos unos 13 como el marco muestral de la cuenca del río Piedras. Alrededor de cada punto seleccionado se construyó un radio de medio km y dentro de esa zona se determinó el tamaño de la muestra poblacional y los bloques censales a ser muestreado. Finalmente se determinaron las calles a ser muestreadas. Dado que estos bloques y calles correspondían a determinadas comunidades se seleccionaron por tanto las trece comunidades representativas de la cuenca. Para ello se utilizó ArcGis, EpiInfo y Excel, respectivamente.

Los setenta puntos de muestreo del estudio se establecieron utilizando como base los límites territoriales de la cuenca del río Piedras. La herramienta principal en la determinación aleatoria de los puntos de muestreo fue el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS 10.0 de la compañía ESRI. Además, se utilizó el programa estadístico EpiInfo para determinar el total del tamaño de la muestra. Para la selección aleatoria de los bloques censales y de las calles donde se llevaría a cabo la aplicación de los cuestionarios se utilizó Excel. En la preparación de las capas digitales utilizadas en el análisis para la determinación de los puntos de muestreo por el SIG se utilizaron fotos aéreas (Mapa 2) de alta resolución con fechas del 2008 provistas por la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA, por sus siglas en inglés) en Puerto Rico.

De los setenta puntos se escogió el 20% como la muestra representativa siguiendo los criterios geográficos establecidos por Lounsbury y Aldrich (1986). A base de este criterio se seleccionaron 14 puntos como el marco muestral usando la función de búsqueda del SIG. Se escogió el 20% de los setenta puntos ya que este número es suficiente para tener una muestra representativa de la población y realizar los análisis ecológicos alrededor de la cuenca del río Piedras. Al final de esta etapa solo quedaron 13 puntos ya que no se logró la accesibilidad física a uno de los puntos. De estos trece puntos salieron las 13 comunidades seleccionadas para este estudio.

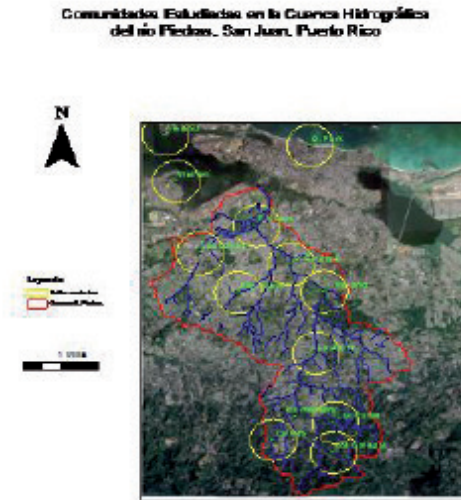
Los puntos y comunidades seleccionadas (Mapa 2) se distribuyeron en tres divisiones de la cuenca y un área control:

- Tres comunidades en la parte alta de la cuenca (Caimito, Los Gallegos, Las Curías)
- Tres comunidades en la parte media de la cuenca (La Sierra, Reparto Metropolitano, Las Lomas)
- Tres comunidades en la parte baja de la cuenca (Puerto Nuevo, University Gardens, Villa Nevares)
- Tres comunidades control en el área de la costa y la Bahía de San Juan (Ocean Park, Viejo San Juan, Vietnam)

La comunidad de Montehiedra que originalmente había sido seleccionada para este estudio fue descartada por falta de accesibilidad por lo cual el trabajo realizado se llevó a cabo en 12 comunidades. Las tres comunidades control localizadas fuera de la cuenca del río Piedras fueron utilizadas como base comparativa con las comunidades que están dentro de la cuenca. Estas comunidades se usaron como base para obtener datos sobre la geología, suelo, vegetación, calidad del agua y percepción ambiental del ascenso del nivel del mar, etc. De igual forma sirvieron para poder ver las diferencias ambientales y poblacionales con respecto a las comunidades que ubican en el interior de la cuenca hidrográfica del río Piedras. El tamaño total de la muestra poblacional para el estudio de percepción fue de 447 persona procedente de las 12 comunidades estudiadas. Estas personas contestaron el cuestionario de percepción sobre los efectos del cambio climático en su salud y propiedad.



Figura 2. MAPA 2: Localización de las comunidades de San Juan estudiadas



### 3. METODOLOGÍA

Para cumplir con el propósito de medir el impacto del aumento (ANM) en el nivel del mar, así como el efecto de las inundaciones y la salinidad en las diferentes comunidades de la cuenca del río Piedras se llevó a cabo un muestreo de las variables salinidad, conductividad y PH, entre otras variables durante los meses de enero a diciembre de 2011. Ello nos permitió delimitar los niveles de salinidad en agua y suelo en la cuenca del río Piedras, así como en las comunidades adyacentes. Este muestreo nos permitió verificar si las proyecciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático y los modelos creados por NASA tenían correspondencia espacial. Se utilizaron el modelo de elevación Digital (DEM) y el gráfico de líneas digitales (DLG) creado por el USGS, así como otros datos topográficos recogidos en el campo con un Sistema de Posición Global (SPG) y datos procedentes del muestreo de agua y suelo para hacer las interpolaciones espaciales (Mapa 3). También se crearon modelos del ANM en el SIG y se compararon con los realizados por NASA. De esta manera este estudio estableció a corto plazo (33 años) y largo plazo (100 años) la vulnerabilidad de las comunidades al impacto de la subida del nivel del mar y su efecto sobre las inundaciones y la vulnerabilidad de los residentes (Mapa 4).



Figura 3. MAPA 3: Modelo Ascenso del nivel del Mar para San Juan según datos del Panel Gubernamental de Cambio Climático (Seguinot, 2010)



Figura 4. MAPA 4: Modelo de Ascenso del Nivel del Mar para San Juan según NASA



La percepción de los residentes se midió mediante la aplicación de un cuestionario compuesto por unas 30 preguntas. El cuestionario fue tabulado en Excel y con ese programa se realizaron los gráficos de todos los datos crudos. Las in-

terrogantes median en primer lugar las características demográficas de la población estudiada. Para ello se preguntaba la dirección, sexo, edad, estado civil, nivel educativo, número de personas residentes en el hogar, ingreso y ocupación. Para evaluar la percepción general de la vulnerabilidad por parte de la población se preguntó cuánto tiempo hacia que residía en el área. Simultáneamente, se realizaron las siguientes preguntas: ¿Qué tipo de actividad se lleva a cabo en su comunidad? ¿Entiende usted que las condiciones del mar, río o quebrada han cambiado? ¿En qué manera cree usted que han cambiado las condiciones del mar, río o quebradas aledañas? ¿Usted se siente en peligro o en riesgo por la presencia del mar, río o quebrada en su vecindad? ¿Cómo usted cree que le afecta la presencia del mar, río o quebrada en su vecindad? ¿Desde cuándo usted piensa que le ha comenzado a afectar la presencia del mar, río o quebrada en su vecindad? ¿Cuándo usted cree que podría afectarle en el futuro la presencia del mar, río o quebrada en su vecindad?

TABLA1: Indicadores y variables de la vulnerabilidad a Inundaciones, al ANM y la salinidad.

Variable	Indicador
B. 9. ¿Entiende usted que las inundaciones es un problema presente en su comunidad?	1) Sí; (2) No; (3) No sé
B. 10. ¿Cómo se podría remediar el problema de inundaciones en su comunidad?	(1) Canalizando el río o quebrada; (2) Elevando la altura de las casas; (3) Mudando la comunidad; (4) Avisando cuando ocurra una inundación; (5) Creando refugios seguros; (6) Ninguno ; (7) No sé
B. 11. ¿Quiénes son los grupos que entiende usted son los más afectados por las inundaciones?	(1) Los niños; (2) Los viejos; (3) Los adultos; (4) Las mujeres; (5) Los hombres; (6) Ninguno; (7) No sé
B. 12. ¿Entiende usted que la salinidad de los cuerpos de aguas y/ o del terreno es un problema presente en su comunidad?	(1) Sí; (2) No; (3) No sé
B. 13. ¿Cómo se podría remediar el problema de salinidad en la comunidad que usted vive?	(1) Bloqueando la entrada de agua salada; (2) Rellenando los suelos con material no salino; (3) Ayudando económicamente a la comunidad ;(4) Educando a los residentes; (5) Dejando que la naturaleza lo resuelva por sí misma ; (6) Ninguno; (7) No sé
B. 14. ¿Quiénes son los grupos que usted entiende pueden ser los más afectados por la presencia de la salinidad?	(1) Los niños; (2) Los viejos; (3) Los adultos; (4) Las mujeres; (5) Los hombres; (6) Ninguno; (7) No sé
B. 15. ¿Entiende usted que el ascenso del nivel del mar es un problema presente en su comunidad?	(1) Sí; (2) No; (3) No sé
B. 16. ¿Cómo se podría remediar el problema de ascenso del nivel del mar en su comunidad?	(1) Construyendo una muralla; (2) Elevando la altura de las casas; (3) Mudando la comunidad; (4) Avisando cuando ocurra una marea o alto oleaje; (5) Creando refugios seguros; (6) Ninguno; (7) No sé.
B. 17. ¿Quiénes son los grupos que usted entiende pueden ser los más afectados por el ascenso del nivel del mar?	(1) Los niños; (2) Los viejos; (3) Los adultos; (4) Las mujeres; (5) Los hombres; (6) Ninguno; (7) No sé

Para el análisis integrado de la vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar, inundaciones y salinidad se establecieron los objetivos presentados en la Tabla 2. Estos objetivos responden a las preguntas y respuestas presentadas en el cuestio-

nario. La sección, el número de la pregunta y de respuestas aparecen identificadas con letras negrillas.

TABLA 2: Objetivos de investigación- Análisis de vulnerabilidad

Evaluar si la población más pobre se percibe como la más vulnerable al Ascenso del Nivel del Mar, Inundaciones y Salinidad. A8(2)+B9(2)+B12(2)+B15(2)
Evaluar si la población de más edad se percibe como la más vulnerable al Ascenso del Nivel del Mar, Inundaciones y Salinidad.
Evaluar la relación entre el género y los grupos que las comunidades perciben como vulnerables. A3(2)+B11(5)+B14(5)+B17(5)
Evaluar si la población de menos educación se percibe como la más vulnerable al Ascenso del Nivel del Mar, Inundaciones y Salinidad. A6(4)+B9(2)+B12(2)+B15(2)
Evaluar si la población que lleva menos tiempo en el área se percibe como la más vulnerable al Ascenso del Nivel del Mar, Inundaciones y Salinidad. B1(2)+ B9(2)+B12(2)+B15(2)
Evaluar si la población rural (Caimito, Las Curias y Los Gallegos) o urbana (otras comunidades) se perciben como la más vulnerable al Ascenso del Nivel del Mar, Inundaciones y Salinidad. R+ B9(2)+B12(2)+B15(2)
Evaluar si la población más cercana al río Piedras o alguno de sus tributarios se percibe como la más vulnerable a Inundaciones. D+ B9(2)
Evaluar si la población más cercana al río Piedras o alguno de sus tributarios se percibe como la menos vulnerable al Ascenso del Nivel del Mar. D+ B15(2)
Evaluar si la población más cercana al mar se percibe como la más vulnerable al Ascenso del Nivel del Mar. D+ B15(2)
Evaluar si la población que vive en zonas inundables se percibe como más vulnerables a inundación. I+B9(2)
Evaluar si la población que vive en zonas salinas se percibe como más vulnerable a la salinidad. S+B12(2)
Evaluar si la población más saludable es la menos vulnerable a Inundaciones, Ascenso del Nivel del Mar y Salinidad. C1(3)+ B9(2)+B12(2)+B15(2)
Evaluar como la temperatura y la precipitación se relacionan con los cambios de Mar, Río y Quebrada. T+P+B4(4)

También se diseñó un cruce de variables según el siguiente esquema (Tabla 3). En este esquema se plantearon las preguntas y respuestas asociadas a la percepción como las variables dependientes. Aquellas que estaban asociadas a los datos demográficos (edad, ingreso, género, estado civil, etc.) se definieron como las variables independientes. Las asociadas a factores geográficos como la distancia al cuerpo de agua, el clima (temperatura y precipitación), inundable (si-no), ANM (si-no) y el tiempo de residencia constituyeron las variables exploratorias. Estas últimas ayudaron a definir los niveles de exposición de las comunidades a los elementos climáticos.

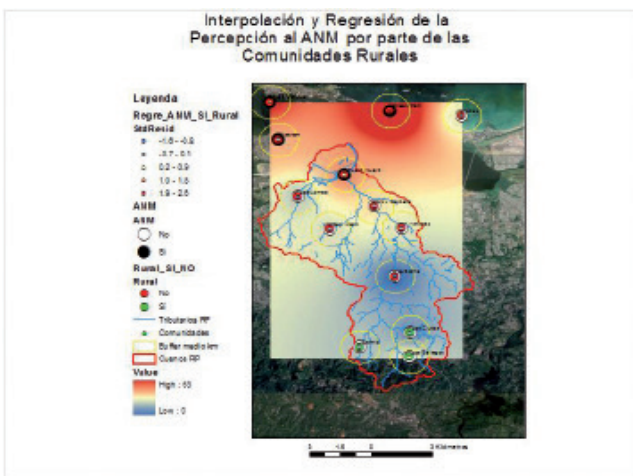
TABLA 3: Cruce de variables dependientes, independientes y exploratorias

Percepción (Variables Dependientes):	Socio Demográfica (variables independientes) y Vulnerabilidad (variables exploratorias):
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio General (rio, quebradas, mar) (B3, B4)=9</li> <li>• Peligro General (rio, quebradas, mar) (B5)=3</li> <li>• Efecto General (rio, quebradas, mar) (B6)=6</li> <li>• Efecto General en el pasado y futuro (B7, B8)=16</li> <li>• Peligro por Inundaciones (B9)=3</li> <li>• El remedio para las Inundaciones (B10)=7</li> <li>• Los grupos afectados por Inundaciones (B11)=7</li> <li>• Peligro por Salinidad (B12)=3</li> <li>• Remedio para la Salinidad (B13)=7</li> <li>• Grupos afectados por Salinidad (B14)=7</li> <li>• Peligro ascenso del Nivel del Mar (B15)=3</li> <li>• Remedio de Ascenso del Nivel del Mar (B16)=7</li> <li>• Grupos afectados al Ascenso del Nivel del Mar (B17)=7</li> <li>• Estado de General de Salud (C1)=6</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Socio Demográfica</li> <li>• Genero (A3)=2</li> <li>• Genero (A3)=2</li> <li>• Edad (A4)=1</li> <li>• Estado Civil (A5)=6</li> <li>• Educación (A6)=10</li> <li>• Personas en la vivienda (A7)=2</li> <li>• Ingreso (A8) =5</li> <li>• Vulnerabilidad (variables exploratorias):</li> <li>• Tiempo (B.1)=7</li> <li>• Distancia al cuerpo de agua (Medir en GIS)=1</li> <li>• Rural o Urbano (si o no)=2</li> <li>• Inundable (si o no), salinidad, ANM=6</li> <li>• Temperatura y precipitación</li> </ul>

El análisis bivariado se hizo mediante regresiones espaciales usando el programa ArcGIS 10.0 en su función del Geographical Weight Regression. La regresión asociaba el valor real de ANM (si-no), inundación (si-no) y salinidad (si-no) con la percepción de la población respecto a la misma condición. Si el valor asociaba positivamente se le asignó un valor de 1 en la matriz que resumía el cruce de variables. Si de lo contrario no asociaba se le asignó un valor de 0. Así fue como se determinó la asociación positiva o negativa entre las variables cruzadas. Cada variable cruzada respondía a uno de los objetivos de la vulnerabilidad planteado en la Tabla 2 y éste a su vez respondió al diseño del cuestionario. Para la interpretación de los datos en forma cualitativa se hizo una clasificación de la vulnerabilidad en alta, mediana y baja a base de los valores máximos y mínimos obtenidos. De esta manera se pudo distinguir entre las comunidades más vulnerables a cada uno de los elementos (ascenso del nivel del mar, inundaciones y salinidad) de cambio climático estudiados. Los mapas representando el cruce de cada variable dependiente con alguna de las variables independiente u exploratoria fueron hechos en el programa ArcGIS 10.0. Ellos representan en forma de capas geográficas la regresión de cada una de las variables dependientes con una de las variables exploratorias, así como la interpolación de cada una de las variables independientes que sirvió de base para hacer el cruce. Unos 60 mapas fueron realizados para visualizar las relaciones o regresiones entre cada una de las variables estudiadas.

Un ejemplo de este tipo de mapa lo constituye el Mapa 5. Este mapa muestra las comunidades que son rurales (Caimito, los Gallegos y Las Curias) y las que son urbanas (comunidades restantes). La variable interpolada es la percepción de la población respecto al ANM. El mapa también muestra las comunidades que estarían afectadas por el ascenso del nivel del mar (ANM-si y no) en 100 años. Estas son Ocean Park, Viejo San Juan, Vietnam y Puerto Nuevo. Al hacer la regresión espacial entre lo rural y el ANM-si y no, se crea la capa llamada Regre\_ANM\_Si\_Rural. Los colores rojo y rosado muestran una relación positiva, el amarillo muestra una relación media con tendencia positiva y los colores grises y azul muestran la relación negativa. Por tanto en dos de las tres comunidades rurales (Los Gallegos y las Curias) se confirma el hecho que por ser rural no interpretan el ANM como un peligro. El caso de Caimito es una excepción porque aunque es una comunidad rural, ellos interpretan de forma media (color amarillo) que el ANM puede afectarle. Ello se debe al alto nivel de conciencia ecológica que existe en esta población. El mismo análisis puede hacerse para el contexto urbano. Las comunidades costeras (Ocean Park, Viejo San Juan y Puerto Nuevo) reconocen que el ANM les está afectando. Sin embargo Vietnam piensa que no les afecta a pesar de estar a unos 100 metros de distancia del mar. Nosotros atribuimos esa diferencia al bajo nivel educativo de esta población y a la necesidad de una mayor orientación sobre los efectos del cambio climático en esta comunidad urbana y costera.

Figura 5. MAPA 5: Percepción del ANM por parte de la comunidades rurales y urbanas



### 3. RESULTADOS

Las variables cruzadas para construir la matriz sobre la cual se calculó el nivel de vulnerabilidad de la población al ANM incluyeron como variable dependiente la pregunta B. 15. ¿Entiende usted que el ascenso del nivel del mar es un problema presente en su comunidad? La respuestas usadas fueron Si o No. Las variables independientes usadas fueron el ingreso de la población con menos de 500 dólares mensuales (<500-ANM), la población con más de 65 años de edad (Edad+65-ANM), el género (hombre o mujer) y su percepción sobre los viejos como grupo vulnerable (F-V-ANM) y (M-V-ANM), la población que tiene una educación menor del octavo grado (Ed-8-ANM), la población que tiene un tiempo de residencia mayor a los 5 años (T<5). Las variables exploratorias fueron la distancia al río Piedras (Drío-ANM), la distancia al mar (Dmar-ANM), si es rural o urbano (Rur-ANM) y la condición de salud (Saud-ANM). Luego del cruce de estas variables mediante la regresión espacial de ArcGIS si los resultados obtenidos se presentan como valores positivos (1) significa que bajo esa relación la población de esa comunidad es vulnerable. Si por el contrario el valor es 0 significa que esa comunidad no es vulnerable bajo esa relación (Tabla 4).

TABLA 4: Indicadores y valores para el Ascenso del Nivel del Mar\*

Nombre	<500-ANM	Eda+65 ANM	F-V- ANM	M-V- ANM	Ed-8- ANM	T<5- ANM	Rur- ANM	Drío- ANM	Dmar- ANM	Sau- ANM	TOTAL
Ocean Park	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	8
Viejo San Juan	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	6
Vietnam	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Las Lomas	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2
Rep. Metrop.	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	3
Caimito	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2
Los Gallegos	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	3
Las Curias	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
La Sierra	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
V. Nevárez	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	3
Univ. Gardens	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4
Puerto Nuevo	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	4

\*\*1= Es vulnerable; 0=No es vulnerable

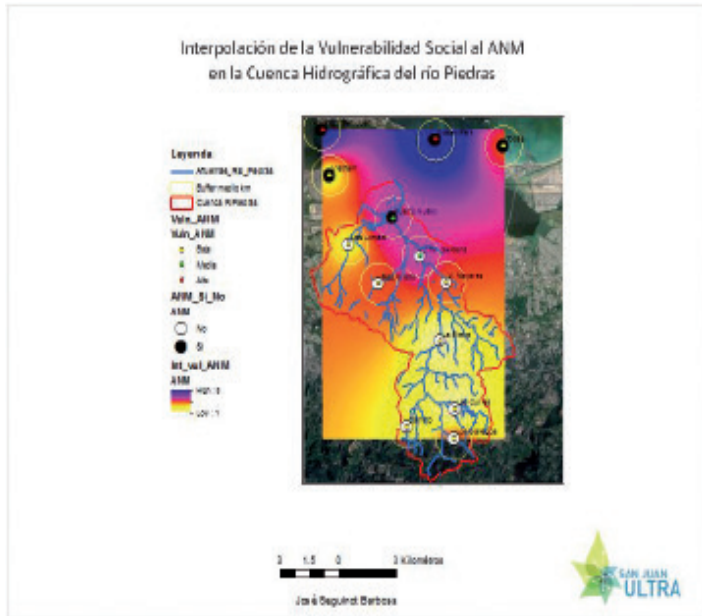


En la tabla de indicadores y valores para el ascenso del nivel del mar (Tabla 4) se pueden apreciar estas relaciones. Así vemos como la comunidad de Ocean Park dio positiva en todas las regresiones, excepto en la rural porque esta no es una comunidad rural y en la distancia al río Piedras porque dada su distancia a éste, ello no es un factor que determina el ANM. No obstante pasa todo lo contrario con la distancia al mar (Dmar-ANM). Dado que ubica tan cerca del mar esta distancia si es un factor que afecta el impacto del ANM sobre esta comunidad. Al sumar todos los valores del ANM encontramos que Ocean Park y el Viejo San Juan son las comunidades más vulnerables al ANM según la percepción de su propia población. Ello coincide claramente con la realidad establecida por el modelo de ANM para 100 años establecidos por la NASA y por nuestros modelos geográficos y espaciales.

Constituye una excepción a la regla la situación presentada por la comunidad Vietnam de Guaynabo. Esta comunidad presenta un valor de vulnerabilidad muy bajo (2) para todos los indicadores de ANM usados. Es una comunidad que debiera tener una alta vulnerabilidad dado que se encuentra muy cerca del mar (unos 100 metros), es una comunidad muy pobre y su situación de salud no es nada buena. El hecho de que ellos se consideren poco vulnerables tiene una explicación. Durante nuestra visita varios de los residentes plantearon que el municipio de Guaynabo quería expropiarles sus terrenos y ellos no querían dar ninguna razón documentada que luego sirviera de excusa para expropiarlos. Ello explica el por qué ellos durante todos este estudio fueron consistentes y no se consideraron vulnerable a nada (Mapa 6) Por otro lado el desconocimiento de los riesgos y vulnerabilidades a los cuales esta comunidad está expuesta explica el bajo nivel de educación que ellos tienen respecto a los peligros que les afectan, particularmente aquellos asociados al cambio climático. El resto de las comunidades presentan resultados esperados. Las comunidades de Puerto Nuevo y University Garden se consideran medianamente expuestas a los efectos del ANM y el resto de las comunidades localizadas en la parte media y alta de la cuenca del río Piedras no se consideran vulnerables al ANM.



Figura 6. Mapa 6: Mapa de la vulnerabilidad al ANM en San Juan



Las variables estudiadas para construir la matriz sobre la cual se calculó el nivel de vulnerabilidad de la población a las inundaciones (IN) incluyeron como variable dependiente la pregunta B. 9. ¿Entiende usted que las inundaciones es un problema presente en su comunidad? Las respuestas usadas fueron Si o No. Las variables independientes usadas fueron el ingreso de la población con menos de 500 dólares mensuales (<500), la población con más de 65 años de edad (Edad-IN), el género (hombre o mujer) y su percepción sobre los viejos como grupo vulnerable (F-V-IN) y (M-V-IN), la población que tiene una educación menor del octavo grado (Edu-IN), la población que tiene un tiempo de residencia mayor a los 5 años (T<5-IN). Las variables exploratorias fueron la distancia al río Piedras (Drío), la distancia al mar (Dmar), si vive en la zona inundable (Vive-IN), si es rural o urbano (Rur-IN), la condición de salud (Saud-IN) y el efecto de la precipitación en los cuerpos de aguas (P+IN). Los resultados del cruce de estas variables mediante la regresión espacial de ArcGIS que se presentan como valores positivos (1) significa que bajo esa relación la población de esa comunidad es vulnerable. Si por el contrario el valor es 0 significa que esa comunidad no es vulnerable bajo esa relación. Los resultados se sintetizan en la siguiente Tabla 5.

TABLA 5: Indicadores y valores para las inundaciones\*\*

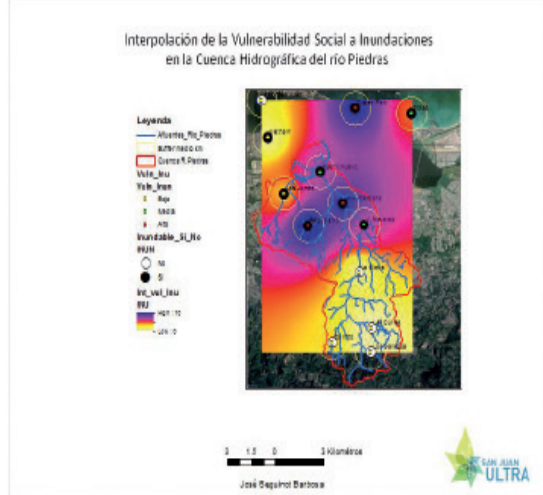
Nombre	<\$500- IN	Edad- IN	F-V- IN	M- V- IN	Edu- IN	T<5- IN	Rur- IN	Drio- IN	Vive-IN	Sau- IN	P+IN	TOTAL
Ocean Park	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	9
Viejo San Juan	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Vietnam	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Las Lomas	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3
Rep. Metrop.	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	10
Caimito	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Los Gallegos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Las Curls	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La Sierra	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
V. Nevárez	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	6
Univ. Gardens	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	9
Puerto Nuevo	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	6
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

\*\*1= Es vulnerable; 0=No es vulnerable

De acuerdo a la interpretación de la Tabla 5 la comunidad de Ocean Park dio positiva en todas las regresiones, excepto en la rural porque esta no es una comunidad rural y en el tiempo de residencia porque la mayor parte de la población encuestada no lleva más de cinco años residiendo en esa comunidad y por lo tanto ello no es un factor que determina la forma como esta población percibe el nivel de inundabilidad. No obstante, pasa todo lo contrario con la distancia al mar (Dmar-ANM), al río (Drío-IN) y el nivel de precipitación (P+IN) que sí son factores que influyen la opinión de la población sobre el nivel de inundabilidad que sufre la comunidad. Al sumar todos los valores de IN encontramos que Reparto Metropolitano, University Gardens y Ocean Park son las comunidades más vulnerables a IN según la percepción de su propia población. Ello coincide claramente con la realidad establecida por el modelo geográfico de zonas inundables establecidos por FEMA y la Junta de Planificación y corroborados por nuestros modelos geográficos y espaciales.

La comunidad de Vietnam ubicada en Guaynabo presenta un valor de vulnerabilidad muy bajo para IN (2) de acuerdo a los indicadores utilizados. Es una comunidad que debiera tener una alta vulnerabilidad dado que se encuentra ubicada en una zona inundable, pero ellos se consideran poco vulnerables por las razones políticas y educativas que hemos explicados anteriormente (Mapa 7). El resto de las comunidades presentan resultados esperados. Las comunidades de Puerto Nuevo y Villa Nevares se consideran medianamente expuestas a los efectos de las inundaciones (IN) y el resto de las comunidades localizadas en la parte media y alta de la cuenca del río Piedras, así como el Viejo San Juan, no se consideran vulnerables a las IN (Mapa 7).

Figura 7. MAPA 7: Mapa de la vulnerabilidad a IN en San Juan



\*\*1= Es vulnerable; 0=No es vulnerable

Las variables estudiadas para construir la matriz sobre la cual se calculó el nivel de vulnerabilidad de la población a la salinidad (SAL) incluyeron como variable dependiente la pregunta B. 12. ¿Entiende usted que la salinidad de los cuerpos de aguas y/ o del terreno es un problema presente en su comunidad? Las respuestas usadas fueron Si o No. Las variables independientes usadas fueron el ingreso de la población con menos de 500 dólares mensuales (<500-SAL), la población con más de 65 años de edad (Edad-SAL), el género (hombre o mujer) y su percepción sobre los viejos como grupo vulnerable (F-V-SAL) y (M-V-SAL), la población que tiene una educación menor del octavo grado (Edu-SAL), la población que tiene un tiempo de residencia mayor a los 5 años (T<5-SAL). Las variables exploratorias fueron si es

rural o urbano (Rur-SAL), si vive en zonas salinas (Vive-SAL) y la condición de salud (Saud-SAL). Los resultados de las regresiones entre las variables se sintetizan en la siguiente tabla (Tabla 6).

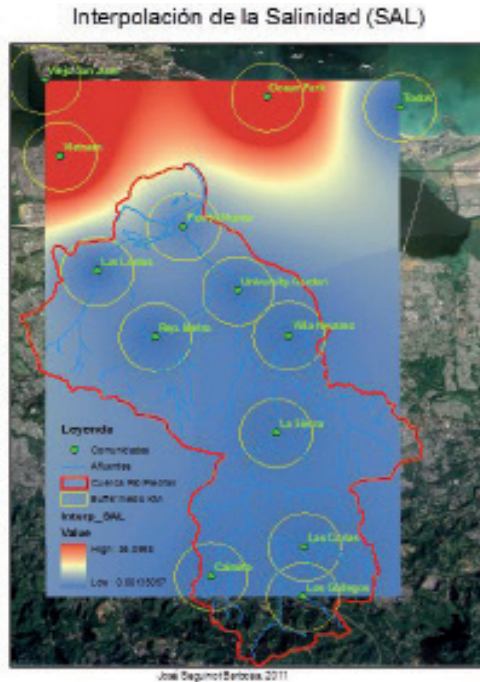
TABLA 6: Indicadores y valores para la salinidad\*\*

Nombre	<\$500-SAL	Edad-SAL	F-V-SAL	M-V-SAL	Edu-SAL	T<5-SAL	Rur-SAL	Vive-SAL	Sau-SAL	TOTAL
Ocean Park	1	1	1	1	1	1	0	1	1	8
Viejo San Juan	1	0	0	0	1	1	0	1	1	5
Vietnam	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
Las Lomas	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Rep. Metro..	1	1	0	0	1	1	0	1	0	5
Caimito	0	0	0	0	1	1	1	1	1	5
Los Gallegos	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Las Curiás	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
La Sierra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V. Nevárez	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Univ. Gardens	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Puerto Nuevo	1	0	0	0	1	0	0	1	1	4
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

\*\*1= Es vulnerable; 0=No es vulnerable

De acuerdo a la interpretación de la tabla de los indicadores y valores para la salinidad la comunidad de Ocean Park dio positiva en todas las regresiones, excepto en la rural porque esta no es una comunidad rural, sino urbana. No obstante, dado que esta comunidad ubica en una zona costera muy cercana al mar ellos reconocen que viven en una zona salina lo cual los hace altamente vulnerable a la salinidad. Al sumar todos los valores de los indicadores de SAL encontramos que además de Ocean Park, El Viejo San Juan presenta una percepción alta en relación a su exposición a la salinidad. Ambas percepciones corresponden perfectamente con la realidad de nuestros análisis de altas concentraciones salinas tanto en el agua como en el suelo. Las mediciones de salinidad media también corresponden de forma correcta con las percepciones de vulnerabilidad media que tienen las comunidades de University Garden, Puerto Nuevo y Reparto Metropolitano (Mapa 8).

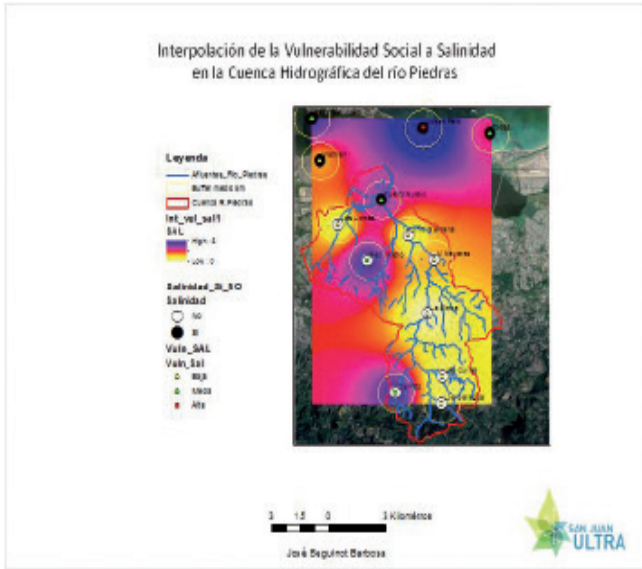
Figura 8. MAPA 8: Mapa de la interpolación de la salinidad (SAL)



0.00135057 Interpolación de la Salinidad (SAL)

Nuevamente la comunidad de Vietnam ubicada en Guaynabo presenta un valor de vulnerabilidad muy bajo para SAL (2) de acuerdo a los indicadores utilizados. Es una comunidad que debiera tener una alta vulnerabilidad (Mapa 8) dado que se encuentra ubicada en una zona altamente salina, pero ellos se consideran poco vulnerables. Con la comunidad de Caimito ocurre lo opuesto. Ellos se consideran medianamente expuestos a la salinidad y sin embargo los valores reales de la salinidad para Caimito son muy bajos. Una posible explicación es el alto nivel de conciencia ambiental que tiene esta población combinado con la falta de información sobre el impacto de la SAL y del ANM sobre su territorio. Las comunidades de Las Lomas, Los Gallegos, las Curias, La Sierra y Villa Nevares presentan bajos valores en la percepción del efecto de la salinidad. Ello concuerda perfectamente con los bajos valores de la salinidad que obtuvimos en los muestreos de suelo y agua realizado en estas comunidades (Mapa 9).

Figura 9. MAPA 9: Mapa de la vulnerabilidad a la salinidad en San Juan, Puerto Rico  
 Interpolación de la Vulnerabilidad Social a Salinidad en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras



Para poder determinar la vulnerabilidad al cambio climático basado en los tres parámetros usados para este estudio (Ascenso del nivel del mar- V+ANM, inundaciones-V+IN y salinidad-V+SAL) se realizó un análisis combinado de la vulnerabilidad que se presenta en la Tabla 7. Según este análisis la comunidad que presenta una mayor vulnerabilidad al cambio climático (CC) es la comunidad de Ocean Park. En ella coinciden la percepción y la realidad objetiva medidas según el muestreo de campo y el desarrollo de los modelos geográficos. Ella es una comunidad altamente vulnerable al ascenso del nivel del mar por estar muy cercana a éste (unos 100 metros), es una zona inundable con una alta frecuencia de inundaciones durante el año y ubica en una región altamente salina. La comunidad de Vietnam que presenta una vulnerabilidad baja debiera ser tan vulnerable como Ocean Park porque también ubica en una zona inundable, es altamente salina y ubica cerca del mar. No obstante, su población se percibe como poco vulnerable dado que se están protegiendo del proceso de expropiación que el municipio de Guaynabo tiene en su contra y dado que sus niveles de información sobre los efectos del cambio climático en su comunidad son extremadamente limitados.

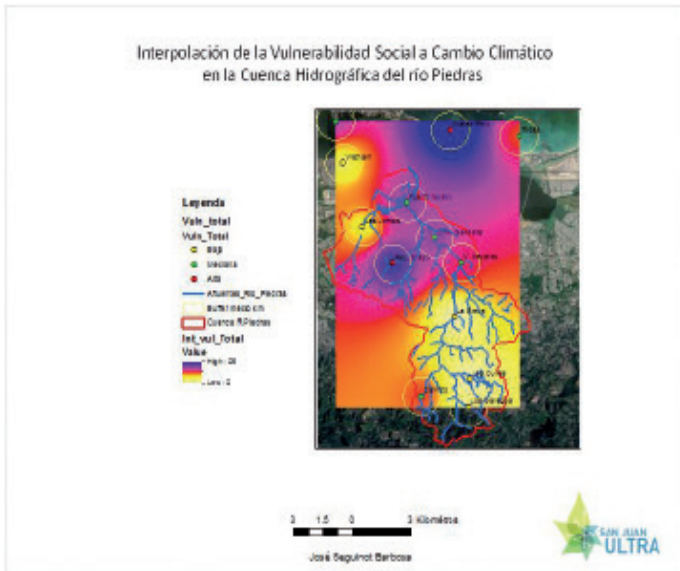
TABLA 7: Análisis combinado de vulnerabilidad

Nombre	V+ANM	TOTAL	V+SAL	Total	V+IN	Total	Puntos	Vulnerabilidad al Cambio Climático
Ocean Park	Alta	8	Alta	8	Alta	9	25	Alta
Viejo San Juan	Media	6	Media	5	Baja	2	13	Media
Vietnam	Baja	2	Baja	2	Baja	1	5	Baja
Las Lomas	Baja	2	Baja	1	Baja	3	6	Baja
Rep. Metro	Baja	3	Media	5	Alta	10	18	Media
Caimito	Baja	2	Media	5	Baja	3	10	Baja
Los Gallegos	Baja	3	Baja	1	Baja	0	4	Baja
Las Curias	Baja	1	Baja	1	Baja	0	2	Baja
La Sierra	Baja	1	Baja	0	Baja	1	2	Baja
V. Nevarez	Baja	3	Baja	2	Media	6	11	Baja
Univ. Gardens	Media	4	Media	1	Alta	9	14	Media
Puerto Nuevo	Media	4	Media	4	Media	6	14	Media

Las comunidades que se son medianamente vulnerables al cambio climático son en orden descendente de puntuación: Reparto Metropolitano, University Gardens, Puerto Nuevo y el Viejo San Juan. Las primeras tres son comunidades vulnerables a las inundaciones, mientras que el Viejo San Juan es medianamente vulnerable al ascenso del nivel del mar y a la salinidad. Las comunidades que no se perciben y que no están expuestas a los efectos directos-al menos en 100 años-del cambio climático (ANM, IN, SAL) son: Las Lomas, Villa Nevares, La Sierra, Las Curias, Los Gallegos y Caimito (Mapa 10). De forma general este mapa presenta los límites espaciales de los efectos reales del cambio climático según ha sido medido para el ascenso del nivel del mar, las inundaciones y la salinidad y la percepción sobre este asunto que tiene la población dentro y fuera de la cuenca del río Piedras. Siguiendo los contornos geográficos de la ciudad de San Juan podemos concluir que el área más vulnerable al cambio climático está conformada por un corredor de vulnerabilidad que va del noreste de la ciudad de San Juan (Ocean Park) pasando por el centro geográfico (Puerto Nuevo, University Gardens) y culminado en la parte suroeste de la ciudad (Reparto Metropolitano) (Mapa 10). También existe un corredor de baja vulnerabilidad que se desplaza del punto noroeste (Vietnam) pasando por el centro geográfico (Las Lomas) y culminando en la parte ubicada al sureste de la cuenca (La Sierra, las Curias y Los Gallegos).



Figura 10. MAPA 10: Mapa integral de la vulnerabilidad al Cambio Climático en San Juan



Interpolación de la Vulnerabilidad Social a Cambio Climático en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras

#### 4. CONCLUSIONES

Luego de haber realizado este estudio podemos llegar a las siguientes conclusiones específicas: Las comunidades con un mayor índice de vulnerabilidad al cambio climático (CC) son: Ocean Park y Reparto Metropolitano. Las comunidades con un menor índice de vulnerabilidad al CC son: La Sierra y Las Curías. Las comunidades con un mayor índice de vulnerabilidad al ANM son: Ocean Park y el Viejo San Juan. Las comunidades con un menor índice de vulnerabilidad al ANM son: Las Curías y La Sierra. Las excepciones por falacia ecológica, es decir porque existe una percepción incorrecta de la realidad, son: Vietnam y Las Lomas. Las comunidades con un mayor índice de vulnerabilidad a las inundaciones son: Ocean Park, Reparto Metropolitano y University Gardens. Las comunidades con un menor índice de vulnerabilidad a las inundaciones son: La Sierra, Las Curias, Los Gallegos y Las Lomas. La excepción por falacia ecológica son: Vietnam y Las Lomas. . Las comunidades con un mayor índice de vulnerabilidad a la salinidad son: Ocean Park y Viejo San Juan. Las comunidades con un menor índice de vulnerabilidad a la salinidad son: La Sierra y Las Curías. Las excepciones por falacia ecológica son: Vietnam y Caimito.

Este estudio refleja que los criterios más importantes para determinar una percepción acorde con la realidad es la capacidad del individuo de mantenerse correctamente informado sobre su realidad geográfica. La falta de educación y de información fidedigna de lo que sucede en su entorno son los principales factores para desarrollar una percepción incorrecta. Los grupos humanos que tienen mejor posición económica, son los que tienen mayor educación, tienen mejor salud y viven en zonas menos peligrosas. Estos grupos son los que presentan una situación de menos vulnerabilidad ante las inundaciones, el ANM y la salinidad en la cuenca del río Piedras. Lo opuesto también es válido para los grupos de menos poder adquisitivo. Por lo tanto, se confirma la hipótesis que señala que los grupos menos privilegiados de la cuenca del río Piedras son los más vulnerables al cambio climático, específicamente al ascenso del nivel del mar (ANM), las inundaciones (IN) y la salinidad (SAL).

En el caso de San Juan la comunidad de Vietnam que debiera ser la más vulnerable es la que se percibe como menos vulnerable. Esta es una comunidad muy pobre, de bajo nivel educativo y con muy poca salud. Su desconocimiento sobre los peligros que le acechan y la poca información que poseen sobre los efectos del cambio climático hacen que no se reconozcan como vulnerables. En el otro extremo ubica la comunidad de Ocean Park que es una comunidad con un mayor nivel educativo y con mejor poder adquisitivo. Esta comunidad reconoce su alta vulnerabilidad al cambio climático. Esto demuestra que el factor económico y educativo es fundamental para determinar que una población perciba correctamente su realidad geográfica.

A modo de conclusión general podemos señalar que este estudio demuestra que no todas las comunidades de San Juan son vulnerables a los mismos elementos del cambio climático. Por lo tanto su nivel de vulnerabilidad real y su percepción varía según su nivel socio-económico y educativo. Ello nos lleva a la conclusión de que el nivel de sostenibilidad y de justicia ambiental existente también varía espacialmente de acuerdo a los niveles de exposición a los riesgos climáticos, así como a sus propias características demográficas, económicas y ambientales.

## 5. REFERENCIAS

- Burke R. y otros, (2004): *Getting to Know ArcGIS*. California, Ed. ESRI Press.

- Fundación Nacional de Ciencias y Servicio Forestal Federal (FNC y SFF), Propuesta, (2010): *San Juan, Puerto Rico: Social-Ecological System Change, Vulnerability, and the Future of a Tropical City*.
- Giusti J., (2010): Research Project on the Environmental History of the Río Piedras Watershed, 1880/1900 to 1970, ULTRA, San Juan, Puerto Rico.
- Lounsbury, J.F. y Aldrich, F.T., (1986): *Introduction to Field Methods and Techniques*. Columbus, Ed. Charles E. Merrill.
- Lugo, A. E. Ramos, O. y Rodríguez-Pedraza, C., (2011): The Río Piedras Watershed and Its Surrounding Environment, International Institute of Tropical Forestry, USDA Forest Service, Jardín Botánico Sur, Río Piedras, Puerto Rico (FS-980).
- Lugo, A. E., (2002): Can we manage tropical landscapes? An answer from the Caribbean perspective, *Landscape Ecology* 17: 601-615 pp.
- Muñoz-Erickson, T.A. Aguilar-Gonzalez, B.J. y Sisk, T.D., (2007): Linking ecosystem health indicators and collaborative management: a systematic framework to evaluate ecological and social outcomes. *Ecology and Society* 12 (2): 6 pp.
- Moreno, A. y otros, (2005): *Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS*, Madrid, Editorial Ra-Ma.
- Pontius Jr, R. G. Cornell, J. and Hall, C. A. S., (2001): Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85, (1-3): 191-203 pp.
- Seguinot Barbosa, J., (1983): Coastal modification and land transformation in the San Juan Bay area: Puerto Rico, Disertación, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Baton Rouge, LA.
- Seguinot-Barbosa, J., (1996): The urban ecology of San Juan (a social geographic interpretation). (La ecología urbana de San Juan (una interpretación geográfico social)), *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 16: 184, 161, pp.

- Seguín-Barbosa, J., (1997): San Juan, Puerto Rico: la ciudad al margen de la bahía, Ed. Geo, San Juan, 142p.
- Seguín-Barbosa J. (2001): *Geonatura: Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica en las Ciencias Ambientales y de la Salud*. San Juan, Publicaciones CD.
- Skidmore A., (2002): *Environmental modeling with GIS and Remote Sensing*. London, Ed. Taylor and Francis.

## Agradecimientos

El desarrollo de este trabajo surge como parte de la implantación de la propuesta aprobada bajo el programa ULTRA (Urban long Term Research Area) y auspiciada por la National Science Foundation (NSF) y el United States Forest Service (USFS). Agradezco al *Dr. Ariel Lugo* y a la *Dra. Tischa Muñoz*, por darnos la oportunidad de colaborar en este proyecto y por revisar el escrito. Los estudiantes doctorales *Omar García* y *Ruben Hernández* trabajaron el diseño del muestreo y la aplicación del cuestionario. Por otra parte la estudiante graduada *Alia El Burai* trabajó la base de datos, graficó los datos crudos de las variables y preparó varios mapas. Finalmente, la estudiante doctoral *Glory Ann Rivera* preparó las presentaciones del proyecto, editó las tablas y mapas del escrito y trabajó con los cuestionarios. El resto de los estudiantes graduados colaboraron en la aplicación del cuestionario en las diferentes comunidades, la toma de muestras en los puntos de muestreo y en la preparación de los mapas. Estos estudiantes fueron los siguientes: *Abdiel Acevedo*, *Denismar Arocho*, *Sandra Carpio*, *Mónica Resto*, *Brenda Vázquez*, *Germaine Vázquez*, *Samarys Seguín*, *Nichole Ortíz Cruz*, *Ailed Cruz Collazo*, *Alejandro A. Nieves*, *Luis A. Beniquez*, *Israel Rodríguez*, *Laura Rivera*, *Mónica Velez*, *Josephine Acevedo*, *Yanitza Hernández*, *Jimmy de León*, *Alberto Pujols*, *Julieanne Miranda*, *Janice Pérez*. Un profesor que colaboró con esta investigación como investigador y asesor fue el *Dr. Pablo Mendez Lázaro*. Muchas gracias a todos por su generosa contribución a este proyecto.