



RELACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE
ARENA DE CONTACTO PRIMARIO CON EL RÉGIMEN DE PLUVIOSIDAD, EN
LAS PLAYAS TURÍSTICAS: EL RODADERO Y PLAYA BLANCA (SANTA MARTA)

JOSÉ LUIS LUGO ARIAS



2014



**RELACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE
ARENA DE CONTACTO PRIMARIO CON EL RÉGIMEN DE PLUVIOSIDAD, EN
LAS PLAYAS TURÍSTICAS: EL RODADERO Y PLAYA BLANCA (SANTA
MARTA)**

JOSE LUIS LUGO ARIAS

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

SANTA MARTA, D.T.C.H

2014

**RELACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE
ARENA DE CONTACTO PRIMARIO CON EL RÉGIMEN DE PLUVIOSIDAD, EN
LAS PLAYAS TURÍSTICAS: EL RODADERO Y PLAYA BLANCA (SANTA
MARTA)**

JOSE LUIS LUGO ARIAS

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

DIRECTOR:

ING. Ph.D. CAMILO BOTERO

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

SANTA MARTA

2014

Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Santa Marta, 11 de Febrero de 2014

TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2. ANTECEDENTES	4
3. MARCO DE REFERENCIA	6
3.1 CONCEPTOS Y TEORÍAS.....	6
3.1.1 Zonas Costeras, playas y turismo.....	6
3.1.2 Clima y estado meteorológico.....	8
3.1.3 Precipitación	9
3.1.4 Indicadores microbiológicos.....	9
3.2 CONTEXTO LEGAL	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	16
5.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
6. METODOLOGÍA.....	17
6.1 ÁREA DE ESTUDIO	17
6.1.1 El Rodadero.....	17
6.1.2 Playa Blanca.....	18
6.2 FASE 1: IDENTIFICACIÓN DEL RÉGIMEN DE PLUVIOSIDAD.....	20
6.3 FASE 2: TOMA DE DATOS DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	21
6.4 FASE 3: CORRELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MICROBIOLÓGICO	24
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
7.1 FASE 1: IDENTIFICACIÓN DEL RÉGIMEN DE PLUVIOSIDAD.....	27
7.2 FASE 2: TOMA DE DATOS DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	32
7.2.1 Tendencias de los parámetros microbiológicos.....	32
7.2.2 Análisis de varianza simple (ANOVA simple).....	35
7.2.3 Base de datos espacial	37

7.3 FASE 3: CORRELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MICROBIOLÓGICO
37

8. CONCLUSIONES	44
9. RECOMENDACIONES.....	45
10. LIMITACIONES	46
11. BIBLIOGRAFÍA.....	47
12. ANEXOS	54
12.1 Datos recolectados en la investigación	54
12.2 Análisis de estadísticos.....	58
12.3 Mapas temáticos en Sistema de Información Geográfica	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores permisibles de indicadores de contaminación fecal para aguas recreativas según el Decreto 1594 de 1984.....	12
Tabla 2. Referente normativo de valores permisibles de enterococos citado en Botero et al. (2011).....	12
Tabla 3. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo de las playas de estudio.....	19
Tabla 4. Número de datos representados gráficamente y analizados estadísticamente	23
Tabla 5. Datos mensuales a correlacionar para cada parámetro microbiológico en su respectivo punto de muestreo	25
Tabla 6. Comparación de medias y medianas de los parámetros microbiológicos evaluados.....	35
Tabla 7. Resumen de los Shapefile empleados para los mapas elaborados	37
Tabla 8. Resumen de los análisis de regresión y correlación lineal de los parámetros microbiológicos con la precipitación mensual en el 2011.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las playas de estudio. Playa Blanca y El Rodadero. Tomado de Botero <i>et al.</i> (2012).....	17
Figura 2. Esquema de la elaboración del gráfico de máximos y mínimos en SPSS, v.19	21
Figura 3. Esquema general del procesamiento de la información de los parámetros microbiológicos.....	24
Figura 4. Esquema general del análisis estadístico en Statgraphpc Centurion XVI.	26
Figura 5. Comportamiento del régimen de pluviosidad con datos agrupados	27
Figura 6. Comportamiento del régimen de pluviosidad con datos desagrupados (años: 2002-2006)	29
Figura 7. Comportamiento del régimen de pluviosidad con datos desagrupados (años: 2007-2011)	30
Figura 8. Comportamiento de los parámetros microbiológicos analizados	32
Figura 9. Comportamiento de los parámetros microbiológicos analizados (continuación 1).....	33
Figura 10. Comportamiento de los parámetros microbiológicos analizados (continuación 2).....	33
Figura 11. Gráficos de regresión simple generados para Coliformes totales	38
Figura 12. Gráficos de regresión simple generados para Coliformes fecales	39
Figura 13. Gráficos de regresión simple generados para enterococos	40

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Base de datos de los datos de precipitación en (mm).....	54
Anexo 2. Base de datos de los coliformes totales en (UFC/100 ml) de los muestreos del proyecto ICAPTU del 2011	55
Anexo 3. Base de datos de los coliformes fecales en (UFC/100 ml) de los muestreos del proyecto ICAPTU en el 2011	56
Anexo 4. Base de datos de los enterococos fecales en (UFC/100 ml) de los muestreos del proyecto ICAPTU en el 2011	57
Anexo 5. Análisis estadísticos descriptivos Precipitación (mm)	58
Anexo 6. Gráfico de caja y bigotes Precipitación (mm)	59
Anexo 7. ANOVA Simple para coliformes totales, usando Stapgraphic	60
Anexo 8. ANOVA Simple para coliformes fecales, usando Stapgraphic	60
Anexo 9. Comparación de medianas para enterococos (prueba no paramétrica de KRUSKAL-WALLIS que no requiere de los supuestos)	60
Anexo 10. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes totales en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo ER01, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	61
Anexo 11. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes totales en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo ER02, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	62
Anexo 12. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes totales en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo PB01, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	63
Anexo 13. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes totales en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo ER01, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	64
Anexo 14. Análisis de regresión y correlación lineal simple con transformación log(x)-log(y) para coliformes totales en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo ER02, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	65

Anexo 15. Análisis de regresión y correlación lineal simple con transformación $\log(y)$ para coliformes totales en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo PB01, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	66
Anexo 16. Análisis de regresión y correlación lineal simple con transformación $\log(x)$ - $\log(y)$ para coliformes fecales en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo ER01, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	67
Anexo 17. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes fecales en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo ER02, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	68
Anexo 18. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes fecales en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo PB01, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	69
Anexo 19. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes fecales en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo ER01, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	70
Anexo 20. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes fecales en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo ER02, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	71
Anexo 21. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes fecales en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo PB01, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	72
Anexo 22. Análisis de regresión y correlación lineal simple para enterococos en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo ER01, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	73
Anexo 23. Análisis de regresión y correlación lineal simple con transformación $\log(y)$ - $\sqrt{x}$ para enterococos en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo ER02, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	74
Anexo 24. Análisis de regresión y correlación lineal simple para enterococos en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo PB01, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	75

Anexo 25. Análisis de regresión y correlación lineal simple para enterococos en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo ER01, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	76
Anexo 26. Análisis de regresión y correlación lineal simple para enterococos en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo ER02, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	77
Anexo 27. Análisis de regresión y correlación lineal simple para enterococos en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo PB01, incluyendo prueba de independencia en Stapgraphics.	78
Anexo 28. Resumen de los análisis de regresión y correlación lineal de los parámetros microbiológicos con la precipitación mensual en el 2011.....	79
Anexo 29. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.....	80
Anexo 30. Variación de los coliformes totales en la arena de los monitoreos del 2011.	81
Anexo 31. Variación de los coliformes fecales en la arena de los monitoreos del 2011.	82
Anexo 32. Variación de los enterococos fecales en la arena de los monitoreos del 2011.	83

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la influencia de la pluviosidad sobre la calidad microbiológica de la arena de contacto primario en las playas turísticas El Rodadero y Playa Blanca fue realizado el presente trabajo. Los parámetros microbiológicos que se utilizaron en esta investigación fueron: coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales, estos fueron obtenidos de la base de datos del proyecto Índice de Calidad Ambiental en Playas Turísticas (ICAPTU) del Grupo de Investigación en Sistemas Costeros (SISCO) de la Universidad del Magdalena en convenio con la empresa Playascol Corporation E.U. (PLAYASCORP) durante los muestreos realizados en el año 2011. Estos parámetros fueron monitoreados mensualmente en dos horarios (10:00 hr y 16:00 hr) en las estaciones de muestreos El Rodadero (ER01 y ER02) y Playa Blanca (PB01). Los análisis microbiológicos fueron determinados en el Laboratorio de Calidad de agua de la Universidad del Magdalena mediante la técnica de filtración por membrana. Los resultados obtenidos fueron correlacionados mediante modelos de regresión lineal simple por cada parámetro en su respectivo horario y punto de muestreo, con la precipitación total mensual en mm, obtenida de la base de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Como resultado se obtuvo la descripción del comportamiento multianual de la precipitación (periodo comprendido entre el 2002 y 2011) en el área de estudio, en el que se observó que los meses de octubre y noviembre presentaron mayor dispersión de los datos analizados de manera agrupada con desviaciones estándar respectivas de 122, 98 mm/mes y 74,06 mm/mes. En cuanto a las relaciones entre las variables de estudio con un nivel de confianza del 95% sólo se obtuvieron dos correlaciones positivas significativas que correspondieron a enterococos en el punto de muestreo ER02 en los monitoreos de la mañana ($r=0,71$) y tarde ($r=0,69$); aunque estos coeficientes de correlaciones lineales son regulares (Rango: 0,60-0,80), el modelo de regresión lineal estimado no es tan confiable, debido a que los coeficientes de determinación (R^2) estimados estuvieron alejados del 100%, siendo estos del 51,60% y 47,72%, respectivamente. Sin embargo, los otros modelos de regresión y correlación lineal empleados tanto para este parámetro como para los demás no fueron significativos, indicando contradicción entre los resultados obtenidos.

Palabras clave: Arenas, uso recreativo, indicadores microbiológicos, precipitación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de los medios de comunicación y de transporte ha facilitado el aumento de la actividad turística de diversos países en los que, a menudo las zonas costeras reciben gran cantidad de habitantes (Iñiguez *et al.*, 2007a). Esta gran demanda de visitantes en estas áreas debe contar con un espacio donde no haya contaminación microbiológica, que garantice las condiciones apropiadas para que estos puedan realizar diversas actividades recreativas sin que estén expuestos a ningún riesgo sanitario por dicha problemática. (Vergaray *et al.*, 2007).

Las playas de arena son las más frecuentadas por los bañistas, estando expuestas a peligros de inundaciones ya sea por acción de olas en mares/lagos o desbordes de riberas de los ríos. Estos casos presentan características especiales con respecto a la contaminación, riesgos para la salud y recuperación (OMS, 1998).

Los ríos son las principales vías de transporte y entrada de residuos orgánicos tóxicos, metales pesados, sedimentos, algunos microorganismos y nutrientes a los ambientes marino-costeros de la región del Caribe colombiano (Garay *et al.*, 2001). No obstante, las precipitaciones podrían incrementar el aporte de contaminación de los ríos que desembocan en las playas de estudio, al igual que el de los residuos (tanto líquidos como sólidos) provenientes de actividades domésticas; en ambos casos a través de escorrentías, logrando ocasionar efectos negativos sobre la calidad sanitaria de la arena en este espacio costero.

Ahora bien, en las playas de El Rodadero y Playa Blanca del sector turístico de Santa Marta, debido a la falta de información sobre la relación de la concentración de los parámetros microbiológicos de la calidad de arena de contacto primario con el régimen de pluviosidad, por lo cual no se pueden proponer medidas de manejo ambiental a tener en cuenta en la playa para su uso recreativo, en la que se relacione dicha calidad con la cantidad de precipitación en estas áreas costeras.

Un aspecto muy importante a mencionar, es que en Colombia no existe normativa que regule la calidad de arena de playas para uso recreativo, lo que es un indicador de que no se están teniendo en cuenta los parámetros microbiológicos como criterio de calidad sanitaria en la arena de playa; por lo cual este trabajo sirve como herramienta para la gestión integradas en las playas del país, al relacionar uno de los factores que posiblemente puede incidir en la calidad sanitaria de arena, en este caso el régimen de precipitación, y también porque se fundamenta en los datos reportados por el proyecto Índice de Calidad Ambiental

en Playas Turísticas (ICAPTU), del Grupo de Investigación en Sistemas Costeros (SISCO) de la Universidad del Magdalena, que evalúa a los indicadores microbiológicos de la arena en sus monitoreos mensuales, razón por la que puede servir como una iniciativa para que en Colombia se integren estos parámetros como criterio que asegure un uso sano de la arena de playa por parte de los usuarios. Por lo anteriormente explicado, surge el siguiente planteamiento:

¿Existe una relación espacio temporal de la calidad microbiológica de arena de contacto primario con el régimen de pluviosidad, en las Playas Turísticas: El Rodadero y Playa Blanca (Santa Marta)?

2. ANTECEDENTES

El crecimiento de la población a nivel mundial ha incrementado los niveles de contaminación (Pulido *et al.* 2005). Esto se ve reflejado en el aumento de los usuarios de las playas, los cuales son una fuente de contaminación debido a los vertimientos que ocasionan en estas como producto de sus actividades tanto domésticas como recreativas, generando impacto negativo en la calidad ambiental y sanitaria de las zonas costeras.

El riesgo sanitario por contaminación microbiológica ha sido estudiado a nivel mundial, en el cual se usan indicadores para evaluar su calidad tanto para agua de mar como para la arena de la playa (OMS, 2003). La OMS/PNUMA (1992, 1994) han destacado que la arena húmeda y los sedimentos de la playa deben ser una parte integral de los estudios epidemiológicos y microbiológicos, que relacionan la calidad del agua recreativa con el efecto sobre la salud.

En Marsella y Agde (Francia) evaluaron los coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales, que fueron aislados de muestras tomadas de arena superficial en época seca, se encontró que los estreptococos fecales, que probablemente pueden ser provenientes de animales, presentaron mayores recuentos que otros indicadores (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, 1990). En un estudio italiano se encontró una relación significativa entre la contaminación de las playas y las aguas marinas adyacentes, presentando la arena mayor recuento bacteriano que el agua (Aulicino *et al.*, 1985). En las playas de Barcelona se realizaron estudios similares (Roses *et al.*, 1988).

No obstante, se han realizado pocos estudios que tengan en cuenta el efecto de las precipitaciones sobre la calidad microbiológica de agua y arena de playa. En cuanto al agua, en Colombia, el INVEMAR (2011) realizó el informe “Diagnóstico Nacional de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras”, que presenta los resultados del análisis de Monitoreo de la Red de Vigilancia para la Calidad Ambiental Marina (REDCAM) en la época lluviosa de 2010 y la seca de 2011, con respecto a la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua marina de sus zonas costeras en el que se realizó una comparación entre épocas y se estimó que la época seca presentó mejor índice de calidad de aguas marinas que la húmeda.

Por otra parte, fue realizado un estudio por Narváez (2010), en el que se llevaron a cabo determinaciones de indicadores bacterianos de contaminación fecal y de parámetros fisicoquímicos en el agua y arena de la playa, teniendo en cuenta días de alta afluencia de bañistas y de fuertes lluvias, siendo considerados estos dos factores como fuentes difusas de contaminación, los cuales fueron evaluados por

separado y comparados con la calidad microbiológica, en las la bahía de Gaira, Santa Marta y Chengue, pertenecientes al distrito de Santa Marta.

En las playas el Rodadero y Playa Blanca de Santa Marta, desde el 2010, el Grupo SISCO ha tomado la iniciativa de monitorear mensualmente los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad de agua y arena; con respecto a la calidad microbiológica se evalúan tanto para agua como para arena, los enterococos fecales, coliformes totales y fecales como indicadores de contaminación fecal. Sin embargo, en el mismo grupo no se ha establecido un estudio de correlación que muestre el grado de incidencia de las precipitaciones sobre la calidad microbiológica de arena para uso recreativo, lo cual es el objetivo principal de esta investigación.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 CONCEPTOS Y TEORÍAS

3.1.1 Zonas Costeras, playas y turismo

Las zonas costeras corresponden a una entidad espacial con características propias, vinculadas a la interacción de procesos situados en la interface entre la geosfera, atmósfera e hidrosfera, condición que le otorga características ambientales de fragilidad y vulnerabilidad, y por otra parte, porque por naturaleza esta zona constituye un espacio muy atractivo para diversas actividades humanas (urbanas, industriales, turísticas, de transporte, agrícolas, acuícolas, pesqueras y otras actividades atractivas), lo que produce la concurrencia de múltiples usos y con frecuencia la generación de conflictos territoriales (Cordero, 2011).

En las zonas marino-costeras existe una dinámica particularmente intensa; esto se debe a que en dichas zonas se da un constante intercambio entre cuatro medios: el mar, la tierra, el agua dulce y la atmósfera; una de las características fundamentales de estas zonas y sobretodo de sus ecosistemas asociados, es su papel en la reproducción, alevinaje, crianza, crecimiento y protección de muchos organismos que utilizan estos ecosistemas y áreas litorales para ello (Lorenzo, 2009).

La zona costera del Caribe colombiano es un mosaico de ecosistemas estratégicos, altamente sensibles a los cambios ambientales naturales o inducidos por el hombre (Posada *et al.*, 2008). Su clima está definido por la presencia de dos periodos húmedos y dos secos debido a la influencia del desplazamiento de la zona de convergencia intertropical (ZCI) (Buitrago, 2009). Estos dos estados de tiempo tienen incidencia en cuanto a la calidad microbiológica del agua. Un estudio realizado por Ramos *et al.* (2008) mostró que en épocas de altas precipitaciones existen fluctuaciones en cuanto a los niveles de agentes microbiológicos en la calidad de agua de mar.

Ahora bien, las playas son un elemento de la zona costera (Iñiguez *et al.*, 2007b). El concepto de playa se define como un rasgo geomorfológico que responde a las condiciones de suministro de sedimento, oleaje, marea, corrientes (Enríquez, 2003).

Las playas son ambientes extremadamente dinámicos y frágiles, donde arena, agua y aire están siempre en movimiento; estas son ambientes de menor diversidad biológica, que constituyen filtros importantes de nutrientes y de materia orgánica los cuales son traídos por las olas y mareas, al igual son sitios de

anidación de aves migratorias y tortugas marinas y son formas de protección natural (Posada *et al.*, 2008).

Desde el punto de vista recreativo, la playa se divide en dos partes: (1) Parte sumergida, la cual comprende la parte inferior de la playa (Se le conoce como área de baño), y además se pueden llevar a cabo las diferentes actividades recreativas; y (2) Parte emergida, que es la zona donde se realizan las actividades recreativas como: tomar sol, caminar, descansar, entre otros (Iñiguez *et al.*, 2007b).

El turismo es una actividad humana que expresa una práctica social colectiva generadora de una actividad económica (Rodríguez, 1996). Este puede ser visto como un sistema abierto conformado por cinco elementos: Uno dinámico (el turista), tres geográficos (región de origen, ruta de tránsito y región de destino) y uno económico (la industria turística) (Portillo, 2002).

Las playas al ser de interés recreativo para turistas, y que a su vez genera ingresos económicos de determinadas poblaciones costeras, ya que en muchas ocasiones representan el principal factor de producción turística (Yépes y Cardona, 2000); requieren de ciertas condiciones de calidad paisajística, ordenamiento y de los factores ambientales, lo que hace que estas sean frecuentadas por turistas, y sea considerada como playa turística. El potencial turístico de una playa no puede dejar de cumplir al menos con los siguientes requerimientos (DGPYC, 2002):

- El clima, que juega un papel importante en la estancia de turistas, ya que es ineludible y que permita flujos de visitantes todo el año.
- Playa parte sumergida (medio marino), que sea apta para que se practiquen actividades recreativas de contacto primario (donde el cuerpo del usuario permanece el mayor tiempo en el agua como en el caso de baño y buceo, entre otras) y secundario (el cuerpo no permanece el mayor tiempo sumergido o en contacto con el agua), por lo que la playa debe tener pendiente suave, el régimen del viento y oleaje compatible con la seguridad de los turistas y la calidad del agua bacteriológica y estéticamente hablando deben ser favorables para evitar riesgos a la salud humana.
- Playa parte emergida (medio terrestre). Son más demandadas las playas de arena fina de color claro, con anchura de 25 a 40 metros y suficiente longitud con buena calidad estética y paisajística (sin basura costera o marina).

- Medio urbano. Una playa turística debe integrarse con un medio urbano que cuente con servicios comerciales de hospedaje variado, de alimentos y bebidas accesibles a los usuarios de la playa.

Un factor importante a tener en cuenta en el turismo, es en cuanto a la relación a las condiciones climáticas, ya que en los últimos años se reportan los mayores crecimientos de ocupación de la playa en condiciones de verano (Garcia, A., y Albuquerque, 2003), lo que muchos autores consideran como turismo de sol y playa. España lidera el mercado de los viajes internacionales, identificándose como país receptor de turismo de sol y playa (Yepes, 1999).

3.1.2 Clima y estado meteorológico

El tiempo meteorológico hace referencia al estado de la atmósfera en un determinado día, semana o mes; se caracteriza por la humedad, la temperatura, la presión, las precipitaciones, la nubosidad en un determinado lugar y momento (PNUMA, 2005).

El clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en una región del planeta, como temperaturas medias, precipitaciones medias, vientos dominantes, etc. (PNUMA, 2005). Por tanto, es el promedio del tiempo meteorológico en un largo plazo (Fuentes, 2000).

Los principales factores que intervienen en el funcionamiento climático son: Radiación solar, movimiento de la tierra a nivel del sol, la atmosfera, la naturaleza de la superficie terrestre, las circulaciones atmosféricas y oceánicas (Fuentes, 2000).

Desde el punto de vista geográfico se diferencian cuatro escalas de climas (Fuentes, 2000):

- Clima zonal: Abarcan grandes áreas geográficas controladas por la circulación general atmosférica, que da lugar a tres cinturones en cada hemisferio, correspondiente a la zona intertropical, templada y polar.
- Clima regional: Los grandes dominios anteriores se dividen en unidades más pequeñas, influidas por factores geográficos, tales como: Distribución de tierras y mares, corrientes marinas, altitud, topografía, entre otros.
- Clima local: Son unidades más pequeñas que la anterior, ligadas a condiciones geográficas locales, como por ejemplo: Un bosque, un valle, una ciudad.

- Microclimas: Son climas de lugares muy delimitados, en donde los elementos meteorológicos (Temperatura, humedad, etc.) están condicionados por el entorno más inmediato. Es el caso, por ejemplo de un campo de cultivo, un invernadero o una calle de una ciudad.

3.1.3 Precipitación

La precipitación es la caída del agua de las nubes, ya sea en estado líquido o sólido. Los tipos de precipitación son: Lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo, entre otros. La lluvia es una precipitación líquida formada por gotas grandes de agua que caen de manera uniforme (Fuentes, 2000), cuyo tamaño normal que caen a través de la base de una nube varía entre 0,1 a 3 mm de diámetro (Chow *et al.*, 2000).

La precipitación se mide con el pluviómetro, el cual expresa en forma de milímetros de lluvia caída en 24 horas, que equivale al espesor de una lámina de agua que se acumularía sobre una superficie horizontal donde no hubiera filtración, evaporación ni escorrentía; aunque también se expresa en litros de agua caída por metro cuadrado de superficie horizontal (Fuentes, 2000). Su formación requiere de la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense (Chow *et al.*, 2000).

Por otro lado, las lluvias presentan una gran variación en el espacio y en el tiempo; pudiéndose representar por mapas de isoyetas, siendo estas un contorno de lluvia constante; además con los datos de precipitación pueden aplicarse métodos estadísticos que permiten estimar la probabilidad de que se presente una determinada magnitud de lluvia en un espacio y tiempo específico, como por ejemplo el periodo de retorno, que puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o excedan una magnitud especificada (Chow *et al.*, 2000).

3.1.4 Indicadores microbiológicos

Un microorganismo indicador de contaminación fecal debe encontrarse en el agua cuando el organismo patógeno este presente; debe estar en mayor concentración que el patógeno y tener características de sobrevivencia similares (INVEMAR, 2006). Los indicadores de contaminación fecal han demostrado ser una buena alternativa frente a la dificultad que representa identificar y cuantificar los patógenos causantes de enfermedades de origen hídrico (Campos *et al.*, 2008).

Los indicadores de contaminación fecal más utilizados en los diferentes países son los coliformes totales (CT) y los coliformes fecales (CF) (Vergaray *et al.*, 2007). Para evaluar la calidad microbiológica del agua de mar, existen guías y

normas de calidad que utilizan microorganismos indicadores, los cuales indirectamente sugieren la presencia potencial de microorganismos patógenos (Cortés, 2003). Hurtado *et al.* (2009) Propone como parámetro ambiental evaluar los indicadores microbiológicos a los coliformes totales, coliformes fecales y enterococos en la playa emergida debido a un estudio previo de impacto ambiental donde se lograron observar varios aspectos relacionados con la actividad turística, entre ellos: aumento de la concentración de organismos patógenos, generación de residuos sólidos, incremento en la concentración de grasas y aceites en la arena. Es por ello que para evaluar la calidad microbiológica de la playa es necesario tener en cuenta tanto el mar como la arena.

3.1.4.1 Coliformes totales

Los coliformes totales son un grupo de microorganismos que comprenden varios géneros, los más frecuentes son *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter* de la familia *Enterobacteriaceae*, se encuentran ampliamente en la naturaleza, agua y suelo; además se encuentran normalmente en el tracto intestinal del hombre y animales de sangre caliente (Páez, 2008).

El grupo coliforme se define como todas las bacterias Gram negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C produciendo ácido y gas (CO₂) en 24 horas, aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la B-galactosidasa (Ministerio de Salud, 1998).

3.1.4.2 Coliformes fecales

Los coliformes fecales (también denominados coliformes termotolerantes), se caracterizan por soportar temperaturas hasta 45°C; comprenden un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de origen fecal (Carrillo y Lozano, 2008). En su mayoría están representados por el microorganismo *Escherichia coli* pero se pueden encontrar otros en menor frecuencia (*Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*) (Hayes, 1993).

Estos integran el grupo de los coliformes totales, pero se diferencian de los demás microorganismos de este grupo, por ser indol positivo y tienen actividad enzimática de la β gluconoridasa, su rango de temperatura es muy amplio (hasta 45°), la presencia de estos indica contaminación fecal de origen humano o animal, ya que las heces contienen dichos microorganismos (Gómez y Vásquez, 1999).

Se ha demostrado, con el tiempo y a través de diferentes estudios, que ésta última tiene una mejor correlación con la presencia de patógenos que los coliformes totales, reemplazándolos como indicadores de la contaminación fecal y

convirtiéndose en el indicador estándar para el análisis de la calidad microbiológica de aguas de uso recreacional, junto con los enterococos (USEPA, 2000).

3.1.4.3 Enterococos fecales

Constituye un grupo taxonómico definido dentro del grupo estreptococos y son de origen fecal (Blanch *et al.*, 2003). Las bacterias del género *Enterococcus* se encuentran en el intestino del ser humano y animales, previamente fueron clasificadas como estreptococos del Grupo D y consideradas como subgrupo de estreptococos fecales (Vergaray *et al.*, 2007).

Entre las características generales que los distinguen se encuentran: cocos Gram positivos, catalasa negativos, inmóviles, anaerobios facultativos, no formadores de endosporas ni cápsulas, con crecimiento en 10 °C y 45 °C, resistencia a 60 °C por 30 minutos, pH óptimo de 9,6; capaces de crecer en concentraciones de 6,5% de NaCl y de hidrolizar la esculina en presencia de 40% de bilis (Suarez, 2002).

Herrera y Suárez (2005) observaron que los coliformes fecales y los enterococos son los indicadores más apropiados para determinar la presencia de contaminación de origen fecal en el cuerpo de agua. Fujioka *et al.* (1999) sostiene que *E. coli* y enterococos son ubicuos y pueden persistir por largos periodos de tiempo en agua y suelos tropicales y subtropicales.

Los enterococos y estreptococos fecales han sido considerados más eficientes para evaluar la calidad del agua de mar para uso recreativo de contacto primario, dado que resisten mejor que los coliformes termotolerantes a las condiciones de estas aguas (Lévesque y Gauvin, 2007), y están relacionados directamente con enfermedades como gastroenteritis, enfermedades respiratorias, conjuntivitis, dermatitis, entre otras (COFEPRIS, 2004).

3.2 CONTEXTO LEGAL

En Colombia, la Normativa vigente que establece los microorganismos indicadores de contaminación fecal para realizar el control sanitario del agua de baño es el Decreto 1594 (transitoriamente vigente) del Ministerio de Agricultura y Salud y Decreto 3930 del 2010 del Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, el cual establece los niveles máximos permisibles para evitar el riesgo en la salud de los bañistas. Sin embargo, al no existir en la actualidad valores guía que establezcan criterios admisibles de calidad microbiológica en arena (Narváez, 2010), no se pueden comparar los resultados obtenidos con los que estipula la legislación colombiana. Este decreto lo que muestra son los criterios

microbiológicos para aguas recreativas en Colombia, teniendo en cuenta los usos del agua, donde se clasifican en dos tipos de uso recreativo: Contacto primario, como natación y buceo; y contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca. En la siguiente tabla se indican los valores permisibles de indicadores de contaminación fecal:

Tabla 1. Valores permisibles de indicadores de contaminación fecal para aguas recreativas según el Decreto 1594 de 1984

Indicador fecal	Contacto primario	Contacto secundario
Coliformes totales (CTT)	<1000 NMP/100 ml	<5000 NMP/100 ml
Coliformes fecales (CFS)	< 200 NMP/100 ml	No aplica

[NMP]: Número más probable

De la tabla anterior, los valores no se pueden comparar con los datos obtenidos en campo para calidad microbiológica de arena principalmente por dos razones. (1) Por las técnicas empleadas, la que utiliza el proyecto ICAPTU es la técnica de filtración por membrana (UFC/100 ml), y el decreto la técnica Número más probable (NMP); y (2) estudios posteriores han mostrado que la contaminación microbiológica es mayor en la arena que en las aguas adyacentes ya que la arena actúa como un puerto pasivo para la contaminación cumulativa (Oliveira y Mendes, 1991, 1992). Lo mismo sucede con los datos obtenidos respecto a los límites permisibles de los enterococos fecales recopilados por Botero *et al.*, (2011), los cuales no se pueden comparar con el decreto 1594/84, y que se muestran en la siguiente tabla, que especifica el límite permisible y el referente bibliográfico/normativo usado según este parámetro microbiológico para aguas marinas.

Tabla 2. Referente normativo de valores permisibles de enterococos citado en Botero *et al.* (2011)

Indicador	Límites permisibles	Unidades	Referente bibliográfico/Normativo
Enterococos	40*	UFC/100 ml	NTS-TS 001-2 (ICONTEC, 2007)
	185	UFC/100 ml	Directiva 2006/7/EC del Concilio Europeo (Mansilla, et al., 2009)

[*] La norma NTC-TS 001-2 establece este límite para los estreptococos fecales, que contienen a los enterococos como grupo taxonómico, luego el valor que establece la norma se aplica para estos últimos microorganismos indicadores de contaminación por patógenos.

4. JUSTIFICACIÓN

La calidad ambiental es un aspecto clave para lograr el objetivo de atraer turistas, especialmente extranjeros, ya que un turista se desplaza miles de kilómetros, buscando unas condiciones ambientales mejores, que las que encontraría en su lugar de procedencia (Barragán, 2003) . Esto se refiere no solo a la contaminación del agua y arena, sino también al estado de los ecosistemas, los cuales son muy importantes para la salud de la playa.

Una playa que cuenta con baja calidad de agua y arena es poco atractiva, además de peligrosa desde el punto de vista sanitario. Malos olores y basura en la playa y dentro del agua son algunos de los ejemplos de contaminación visible o fácilmente detectable, sin tener que utilizar laboratorios para identificar el problema. Estos contaminantes son también los más fáciles de controlar y prevenir, ya que los malos olores muchas veces vienen de los restos de comida dejados en la arena y la basura, que podría ser controlada a través de la recolección diaria. En el caso de la contaminación del agua, el control es más difícil, ya que en la mayoría de casos la contaminación proviene de fuera y las fuentes de contaminación no son fácilmente detectables. Sin embargo, el control y prevención de contaminación es posible, pero requiere una actitud pro-activa de las personas encargadas de la gestión de la playa y cooperación de los actores públicos y privados en la zona.

Cabe destacar que la contaminación es un factor fundamental, ya que constituye uno de los principales impactos en aguas recreativas, así como un riesgo para la salud pública (Narváez, 2010). Estudios epidemiológicos han estimado que globalmente cada año, se presentan por lo menos 120 millones de casos de enfermedades gastrointestinales y 50 millones de enfermedades respiratorias, causadas por la exposición de los bañistas a aguas costeras contaminadas con aguas residuales (Shuval, 2003). La contaminación microbiológica en el agua ha sido ampliamente estudiada teniendo en cuenta que este recurso ha sido un vector para la transmisión de enfermedades, tan graves y de alto impacto como el cólera (Mallin *et al.*, 2000). El riesgo sanitario de los bañistas es un problema de importancia fundamental y por lo tanto los atractivos/destinos turísticos de playa deben ser evaluados en el marco de la calidad ambiental con las técnicas que demuestren el peligro real proveniente del entorno.

No obstante, el movimiento del agua causa erosión, transporte y deposición de todos los sedimentos de la playa así como la posterior redistribución de microorganismos (OMS, 1998). Es por esta razón que la calidad microbiológica de la arena de la playa también puede ser afectada por la presencia de microorganismos patógenos en el agua del mar, y por ende puede afectar la salud

de las personas que se recrean en las arenas de la playa. Los bañistas pasan más tiempo en la arena de las playas que en el agua y los microorganismos son un componente significativo de la arena de playa. Por ello, se ha mostrado preocupación por la arena de playa y materiales similares ya que pueden actuar como reservorios o vectores de infecciones (Roses *et al.*, 1988).

Por otro lado, en el área húmeda de la arena de la playa, se brinda un ambiente favorable para la supervivencia de los microorganismos, como por ejemplo las bacterias entéricas, estas pueden sobrevivir en estas regiones de la playa, ya que están enriquecidas de sustancias orgánicas, la cual puede causarle problemas epidemiológicos a las personas que pasan la mayor parte de su tiempo endicha área de la arena de playa (OMS, 1998).

Muchos contaminantes pueden ser arrastrados por las lluvias, que pueden llegar a la playa y producirle contaminación, como lo es el caso de la contaminación atmosférica, siendo las precipitaciones un transporte de contaminantes a superficies terrestres (Rubio *et al.*, 2001), lo mismo sucede con microorganismos que están en el aire, estos pueden alterar la calidad de esta (De La Rosa *et al.*, 2002). El agua de escorrentía contaminada también puede llegar por efectos de precipitaciones a alterar las condiciones de la playa.

Un factor muy importante que hay que tener en cuenta es que estos espacios están ligados a la economía, debido a que constituyen una fuente de ingresos que están relacionados con la buena calidad de arenas bañadas por las aguas limpias de la playa (Yépes y Cardona, 2000). En un estudio realizado por Elmir, *et al.* (2007) se encontró que los niveles más altos de bacterias en el agua fueron hallados en un evento de precipitación que se produjo inmediatamente antes del primer muestreo. Lo anterior demuestra la incidencia de las precipitaciones sobre los parámetros de la playa en cuanto a la variación de los mismos, razón por la cual deben evaluarse estas variables tanto en periodos secos y de lluvia para prevenir problemas de contaminación.

Ahora bien, si no se sabe cuál es la variación de los parámetros microbiológicos de la arena tanto en periodos de lluvia como en los secos, entonces se desconocerá la calidad microbiológica y por tanto no se conocerá el verdadero estado de contaminación, ni tampoco se podrá proponer medidas de mitigación de la playa que garantice un buen estado de la calidad de la playa, de tal manera que no afecte la salud de personas que se recrean en estos ecosistemas.

En El Rodadero en periodos de lluvia se logra observar como el agua servida del camellón puede llegar a través de escorrentías, tanto a las arenas de la playa como al agua, donde muchas personas realizan actividades, quedando

susceptibles a estos contaminantes, lo cual puede generar riesgo en la salud de estas personas, teniendo en cuenta que esta playa es muy visitada por turistas. En el caso de Playa Blanca, es evidente que se encuentra amenazada por el manejo inadecuado de los residuos sólidos, así como el de las aguas residuales (Herrera, 2010); lo cual puede afectar la zona arenosa de la playa debido a la movilidad de contaminantes por el efecto de las precipitaciones, logrando así el incremento de la contaminación microbiológica de este sustrato.

Debido a lo anterior, es necesario caracterizar la calidad de la arena de estas playas teniendo en cuenta eventos de precipitaciones para brindarle información veraz a los usuarios sobre el estado de esta, y así tomar medidas que logren manifestar si es posible realizar actividades de recreación sin que se produzcan efectos adversos a la salud de bañistas.

Por tanto el programa de Ingeniería ambiental y Sanitaria de la Universidad del Magdalena puede extenderse a realizar estudios acerca de esta problemática local para brindarle información a entidades y así motivar a que se implementen estudios de este tipo con más frecuencia, ya que se cuenta con los equipos adecuados y personal especializado para poder llevar a cabo este proyecto, dando información confiable a cerca de la calidad microbiológica en las playas de El Rodadero y Playa Blanca.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de la pluviosidad sobre la calidad microbiológica de la arena de contacto primario, en las playas turísticas: El Rodadero y Playa blanca, (Santa Marta).

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el régimen pluviométrico de 10 años de dos épocas climáticas (húmeda y seca) en el área de estudio, a través de información de la red hidrometeorológica de Colombia.
- Determinar el comportamiento estadístico de los parámetros microbiológicos en la arena de contacto primario en las dos playas: (Playa Blanca y El Rodadero) de los datos tomados en los muestreos del año 2011 y 2012 del proyecto ICAPU.
- Determinar la correlación del comportamiento microbiológico de la arena de contacto primario, con el régimen de precipitación en cada una de las playas de estudio.

6. METODOLOGÍA

6.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende dos playas turísticas: El Rodadero y Playa Blanca ubicados en el Departamento del Magdalena (Santa Marta) en el Caribe colombiano. Estas son dos de las playas principales de turismo en el Distrito de Santa Marta, el cual presenta aproximadamente 69 playas, dentro de la Capitanía de Puerto, de las cuales, 15 son utilizadas para el desarrollo de la actividad pesquera, 22 a la actividad turística y 32 no se encuentran registradas dentro de estas actividades, consideradas como playas vírgenes (Iglesias *et al.*, 2008).



Figura 1.Ubicación de las playas de estudio. Playa Blanca y El Rodadero. Tomado de Botero *et al.* (2012)

6.1.1 El Rodadero

La Bahía del Rodadero se encuentra entre los $11^{\circ}12'18.9''$ N y $74^{\circ}13'41.6''$ W, en el corregimiento de Gaira a 5 km del suroeste de Santa Marta (departamento del Magdalena), en el Caribe colombiano. Se encuentra enmarcada dentro de la Unidad Ambiental Costera (UAC) de la Vertiente Norte de la Sierra Nevada de Santa Marta (Alonso *et al.*, 2003).

Esta playa comprende desde el canal de la escollera hasta el Parque Acuático del Rodadero, con una longitud aproximada de 930 m. Su zona más angosta en el centro con 38 m y la zona más ancha al sur con 72 m, presentando una área de 42890 m² (Hurtado, 2010).

Presenta bajas profundidades, siendo inclinada de forma cóncava hacia el Este (Mertins, 1972). Durante la mayor parte del año presenta aguas calmas (CIOH, 1995). Su oleaje sigue la dirección del viento, predominando la circulación denominada “Contracorriente de Colombia” dirigida hacia el Noreste a lo largo de las costas del Caribe, la cual prevalece en la región en los meses de Mayo a Diciembre (CIOH, 1995).

Las precipitaciones promedio durante varios años es de 500 mm/año (Mertins, 1972). Las lluvias principales se presentan a principios de Septiembre hasta mediados de Noviembre, y en menores cantidades entre Mayo y Junio. No presenta lluvias o es extremadamente pobre en lluvias en los meses comprendidos entre principios de Diciembre hasta mediados de Abril (Mertins, 1972). La temperatura promedio anual es de 28 °C (CIOH, 2008).

La estructura del suelo está conformada por material carbonatado o de algas, y por material terrígeno (Posada *et al.*, 2008). Su origen, proviene de dos procesos (Franco, 2005): primero, por la meteorización y erosión de las rocas que conforman el relieve costero de la región de Santa Marta, y segundo por el aporte fluvial de las cuencas de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM).

Existen tres (3) ecosistemas asociados en la bahía, como son las praderas de fanerógamas de especie *Syringodium*, playa arenosa y fondo arenoso (Steer *et al.*, 1997). De acuerdo al ecosistema de playa arenosa y fondo arenoso se encuentran principalmente organismos como crustáceos (anfípodos e isópodos), moluscos que llegan a la playa por la dinámica marina, al igual que erizos, pequeños cardúmenes de lenguados (*Bottus*), barbados comedores de fondo (*Pseudopenaeus*), lisas (*Mugilidae*), anchovetas y machuelos (*Engraulidae*) (Hurtado, 2010).

6.1.2 Playa Blanca

Playa Blanca se encuentra ubicada entre Lat. 11 37, 14 N y Long. 74 14, 29 W y Lat. 13,01N Long. 74 14,16 W en el corregimiento de Gaira, municipio de Santa Marta (Departamento del Magdalena), en el Caribe colombiano. Pertenece a la Unidad Ambiental Costera (UAC) de la vertiente norte de la Sierra Nevada de Santa Marta (Herrera, 2010).

Esta playa presenta cuatro ecosistemas, los cuales son: el rocoso, el de playa, el marino y el coralino. El sistema rocoso se encuentra conformado por plantas de cactus y diferentes tipos de rocas. La playa tiene una longitud de 435 metros y un ancho máximo de 35 metros, en la zona marítima presenta una pendiente pronunciada por ser la continuación de la Sierra en el mar. El litoral predominante es el rocoso con una morfología dominada por la presencia de acantilados del sistema Sierra Nevada de Santa Marta (Herrera, 2010).

Durante el año se presentan dos épocas definidas: húmedas y secas. En la época seca los vientos alisios del norte ocasionan ráfagas que logran alcanzar los 35 kilómetros por hora, las cuales generan incremento en la altura de la ola; y en la época húmeda se reducen, disminuyendo la altura de la ola y se presentan lluvias (Herrera, 2010).

El principal acceso a esta playa es por vía marítima, ya que no tiene un acceso terrestre apropiado. Se llega a esta por medio de lanchas que recorren aproximadamente 5 kilómetros desde la playa El Rodadero en un tiempo aproximado de 10 minutos.

La siguiente tabla ilustra la ubicación geográfica de los puntos de muestreos en el área de estudio y en el Anexo 29 se muestran ubicados en un mapa temático.

Tabla 3. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo de las playas de estudio

PLAYA	PUNTO DE MUESTREO	LATITUD	LONGITUD
EL RODADERO	ER01	11°12'15.60"N	74°13'40.90"W
	ER02	11°12'9.23"N	74°13'40.93"W
	ER03	11°12'25.49"N	74°13'44.09"W
PLAYA BLANCA	PB01	11°13'6.89"N	74°14'18.14"W

Se realizó un diseño metodológico por fases para el cumplimiento de los objetivos específicos durante esta investigación, las cuales fueron las siguientes:

- Fase 1: Identificación del régimen de pluviosidad.
- Fase 2: Toma de datos de los parámetros microbiológicos.
- Fase 3: Correlación del comportamiento microbiológico.

6.2 FASE 1: IDENTIFICACIÓN DEL RÉGIMEN DE PLUVIOSIDAD

Para identificar el régimen de pluviosidad en las playas de estudio, se agruparon los datos de precipitación mensual en milímetros (mm) de la red hidrometeorológica de Colombia de los 10 últimos años (2002-2011), reportados en la estación meteorológica Simón Bolívar de Santa Marta, que se encuentra ubicada geográficamente en las coordenadas Lat. 11° 07' N y Long. 74° 13' W.

A estos datos se les determinaron los siguientes parámetros estadísticos: media, desviación típica, varianza, de acuerdo a la metodología propuesta por (Hurtado, 2007), al ser datos de intervalo; y se presentaron en un gráfico de máximos y mínimos.

Los parámetros estadísticos de medidas de tendencia central (media) y medidas de dispersión (varianza y desviación estándar), fueron estimados mensual y anualmente de los datos de precipitación recolectados. El promedio fue estimado mensual y anualmente para identificar la magnitud de la precipitación, con el objetivo de conocer los meses y años más lluviosos (húmedos) y los menos lluviosos (secos); en cuanto a las medidas de dispersión empleadas, fueron estimadas de manera similar a la media, con la finalidad de determinar el grado de variación de los datos, estableciendo así el mes y el año en que se presentó la mayor y menor variación, referente a la distancia de los datos con respecto a la media.

El conjunto de datos fue representado por medio de dos gráficos, un gráfico de máximos y mínimos, y otro con líneas de tendencia, los cuales son descritos a continuación:

EL gráfico de máximos y mínimos fue realizado para mostrar la variación de la media con respecto a los valores máximos y mínimos, y así obtener los errores máximos y mínimos de la muestra analizada, como también identificar el mes más homogéneo y heterogéneo, con respecto a la magnitud de las precipitaciones presentadas en cada mes del año. Este fue elaborado usando el programa estadístico SPSS versión 19, siguiendo el procedimiento ilustrado en la siguiente figura:



Figura 2. Esquema de la elaboración del gráfico de máximos y mínimos en SPSS, v.19

- **Creación de variables:** en el presente estudio se establecieron dos variables independientes: tiempo (meses) y precipitación (mm).
- **Digitalización de los datos:** en la variable meses se ingresaron los valores {1= enero, 2=febrero,...,12=diciembre}, para indicar el mes correspondiente; en cuanto a la variable precipitación, se digitó el valor de la precipitación correspondiente a los meses de cada año, en este caso los datos se importaron de Excel a SPSS.
- **Construcción del gráfico:** una vez digitalizado los datos en el software, fue elaborado el gráfico de máximos y mínimos.

En cuanto al gráfico de líneas de tendencia, fue realizado en Excel por medio de un gráfico de líneas múltiples, representando cada línea el comportamiento de la precipitación mensual de cada año de estudio. En el eje “x” fueron ubicados los meses y en el eje “y” el valor de la precipitación correspondiente a los datos recopilados de los 10 últimos años.

El comportamiento mensual fue comparado con el de la media, para establecer cuál fue el año que se comportó más similar a esta, así mismo para identificar el mes y el año en el que se presentaron los valores máximos y mínimos de precipitación, siendo relacionados con su respectivo promedio y desviación estándar.

6.3 FASE 2: TOMA DE DATOS DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Los indicadores de contaminación microbiológica de la arena en las playas de estudio fueron: Enterococos fecales, coliformes totales y coliformes fecales, los cuales se tomaron de la base de datos del proyecto ICAPTU del grupo de Investigación en Sistemas Costeros (SISCO) de la Universidad del Magdalena, en

los muestreos mensuales realizados en el año 2011, en las playas El Rodadero (puntos de muestreos ER01, ER02 y ER03) y Playa Blanca (punto de muestreo PB01). Estos datos fueron monitoreados de manera general el tercer domingo de cada mes.

Las determinaciones se realizaron en Laboratorio de Calidad de agua de la Universidad del Magdalena, para enterococos fecales, coliformes totales y fecales fueron llevadas a cabo por los laboratoristas del Grupo SISCO, a través del método de filtración por membrana SM, 9222-B (Standard Method, 2005).

El comportamiento de estos indicadores microbiológicos fue relacionado con respecto al tiempo (horas, días y meses) en todos los puntos de muestreo, por medio de una gráfica de líneas de tendencia elaborada en Excel. Para ello, se construyeron tres líneas que representaron cada valor de los parámetros microbiológicos determinados en el laboratorio, en unidades de UFC/100 ml, como variable dependiente; en la variable independiente se organizaron de manera jerárquica relacionando el tiempo y la estación de muestreo en el siguiente orden: Año (2011), Meses, punto de muestreo (ER01, ER02, ER03 y PB01), y hora de la toma de muestra.

En la hora de la toma de muestra se tuvo en cuenta la frecuencia para cada parámetro, la cual fue de tres veces al día por muestreo en cada estación, que hicieron referencia al realizado en la mañana (10:00 am), medio día (12:30 pm) y tarde (4:00 pm).

Por otro lado, se realizó un ANOVA simple con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$) en el software Statgraphpc Centurion XVI, para comparar las medias de las concentraciones de cada parámetro microbiológico en sus respectivos puntos de muestreo,

En la aplicación del Análisis de Varianza (ANOVA) se tuvo en cuenta los requisitos del modelo: (1) Normalidad en los residuos, en el que se plantea como hipótesis nula, que los residuos provienen de una distribución normal y como alterna, que no provienen de una distribución normal; (2) Homocedasticidad, las varianzas de los residuos son iguales como hipótesis nula, y que son diferentes como hipótesis alterna; y (3) Independencia en los residuos, para ello se elaboró una gráfica de líneas de tendencia para observar que no exista una tendencia del comportamiento de los residuos.

En caso de que el modelo no cumpla con los requisitos mencionados del mismo, se procedió a elaborar una comparación de medianas, a través de la prueba no paramétrica de kruskal-wallis, la cual no requiere de los mencionados requisitos.

En la siguiente tabla se muestra el número de datos que se tuvieron en cuenta para la elaboración del gráfico y el análisis estadístico para todos los parámetros microbiológicos. Cabe resaltar que los datos del medio día (12:30 pm) no se tuvieron en cuenta para el ANOVA simple porque sólo fueron tomados tres meses del año de estudio, resultando ser no representativos con respecto a las otras dos horas de muestreo (10:00 am y 400 pm).

Tabla 4. Número de datos representados gráficamente y analizados estadísticamente

Fecha de muestreo	10:00 AM				12:30 PM				4:00 PM				Total
	ER01	ER02	ER03	PB01	ER01	ER02	ER03	PB01	ER01	ER02	ER03	PB01	
23 de Enero.	3	3	0	3	0	0	0	0	3	3	0	3	18
20 de Feb.	3	3	0	3	0	0	0	0	3	3	0	3	18
21 de Mar.	3	3	0	3	0	0	0	0	3	3	0	3	18
17 de Abr.	3	3	0	3	0	0	0	0	3	3	0	3	18
21 de Mayo	3	3	0	3	0	0	0	0	3	3	0	3	18
19 de Junio	3	3	0	3	0	0	0	0	3	3	0	3	18
24 de Julio	3	3	0	3	0	0	0	0	3	3	0	3	18
20 de Agos.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18 de Sept.	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	27
23 de Oct.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 de Nov.	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	27
18 de Dic.	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	27
Total	30	30	0	30	9	9	0	9	30	30	0	30	207

[0]: No hubo reporte de datos de los parámetros microbiológicos en la arena.

[3]: Indica la sumatoria de la toma de los tres parámetros (Coliformes totales, fecales y enterococos).

Por último, se elaboró una base de datos espacial, utilizando software especializado en Sistemas de Información Geográfica (SIG). En esta base de datos se crearon puntos como figuras para representar las estaciones de muestreo; y se le definieron atributos para el almacenamiento de datos de tipo numérico, en los que se digitó la información de los parámetros microbiológicos recolectados de la base de datos del grupo SISCO.

Luego fueron ubicados los puntos de muestreos georreferenciados en el software, utilizando como referencia el sistema de coordenadas WGS 84; y finalmente se elaboraron mapas temáticos con la información digitada y con la creación de capas temáticas para representar el área de estudio, partiendo de una fotointerpretación de imágenes satelitales de los servidores en línea de Bing Maps.

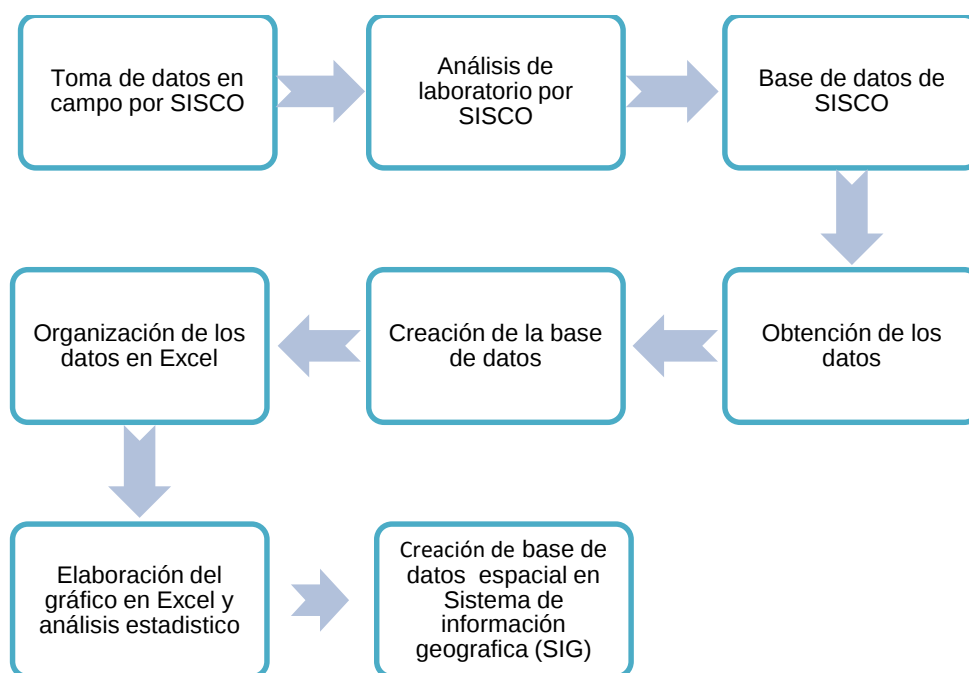


Figura 3. Esquema general del procesamiento de la información de los parámetros microbiológicos

6.4 FASE 3: CORRELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MICROBIOLÓGICO

Los datos se analizaron por medio de las técnicas estadísticas propuestas por Hurtado (2007), las cuales para datos de razón se emplearon: Correlación de Pearson, regresión simple, y se representaron por medio de un gráfico de dispersión, incluyendo la línea de regresión.

Estos datos obtenidos de los indicadores microbiológicos (Enterococos, coliformes totales y fecales), se correlacionaron mensualmente con el régimen de precipitación y se representaron en un gráfico de dispersión; usando el Programa Statgraphpc Centurion XVI.

Las regresiones y correlaciones se realizaron con las variables de la precipitación total mensual en (mm) del año 2011 y los indicadores evaluados en los muestreos realizados por el Grupo SISCO en ese mismo año. Estas se efectuaron para todos los muestreos por cada toma de muestra, tanto para la de la mañana como para la de la tarde, en relación con la precipitación mensual. Se obtuvieron 18 correlaciones que se indican en la siguiente tabla que resume los valores a correlacionar mensualmente con la precipitación:

Tabla 5. Datos mensuales a correlacionar para cada parámetro microbiológico en su respectivo punto de muestreo

Parámetro	Punto de muestreo	Hora	
		10:00 AM	4:00 PM
Coli totales	ER01	x	X
Coli totales	ER02	x	X
Coli totales	PB01	x	X
Coli fecales	ER01	x	X
Coli fecales	ER02	x	X
Coli fecales	PB01	x	X
Enterococos	ER01	x	X
Enterococos	ER02	x	X
Enterococos	PB01	x	X

[x]: Dato a correlacionar

No obstante, no se incluyó en el cálculo estadístico la estación de muestreo ER03, debido a que en el 2011 el grupo SISCO no reportó datos en ese punto; ni se tuvo en cuenta la muestra del medio día (12:30 pm), ya que solo fueron tomadas en los meses de septiembre, noviembre y diciembre del año 2011, razón por la cual no pudieron ser relacionados en todos los meses. Tampoco se correlacionaron los meses de agosto y octubre porque no hubo reporte del monitoreo.

Con base en los resultados obtenidos de las correlaciones, se identificó cuál o cuáles de los parámetros microbiológicos evaluados están siendo afectados por el régimen de pluviosidad, según el criterio del grado de correlación de Pearson.

Por otro lado, se verificaron los requisitos del modelo: (1) Normalidad en los residuos, usando la prueba estadística de Shapiro-Wilk; (2) Homocedasticidad, la prueba de Levene's; y (3) Independencia en los residuos, la prueba de Durbin-Watson. Sin embargo, en los casos que no cumplieron con estos supuestos, se transformaron las variables para lograr lo requerido de las estimaciones estadísticas, con la finalidad de darle validez estadística.

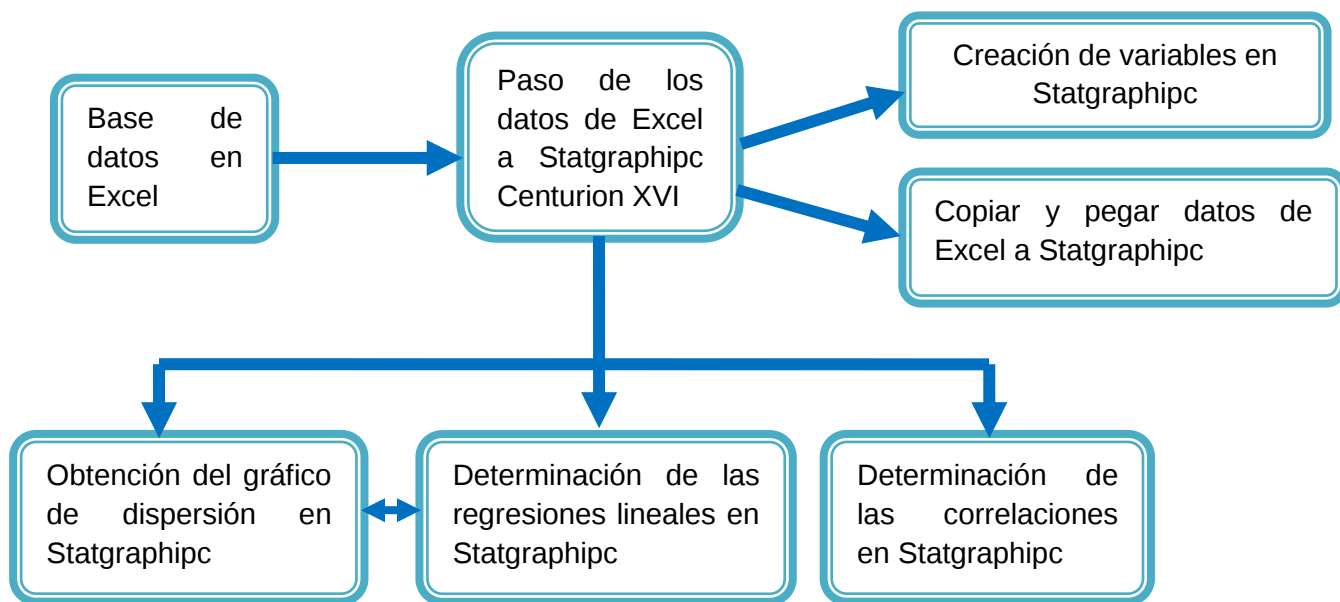


Figura 4. Esquema general del análisis estadístico en Statgraphpc Centurion XVI.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 FASE 1: IDENTIFICACIÓN DEL RÉGIMEN DE PLUVIOSIDAD

Los datos analizados de precipitación de los últimos 10 años de la estación meteorológica Simón Bolívar, se presentan a continuación en dos gráficos, los cuales describen el comportamiento de la distribución de los datos; de manera agrupada y desagrupada, por medio de un gráfico de máximos y mínimos, y por líneas de tendencias, respectivamente.

La finalidad de representar los datos de manera agrupada y desagrupada es la siguiente: La primera, para indicar el grado de homogeneidad de los datos mensuales de precipitación, en los cuales se representa la variación de los valores máximos y mínimos con el respecto a la media, pudiéndose así observar márgenes de error de los datos o valores anormales. La segunda, para mostrar las tendencias anuales de todos los meses; logrando así, extraer información de las fechas en las que ocurrieron los eventos de precipitación de interés, comparar comportamiento anual con los parámetros estadísticos (media y desviación estándar), identificar año y mes más lluvioso y menos lluvioso, y comparar el comportamiento de los datos con eventos climatológicos (periodos de lluvia y sequia) en un momento determinado.

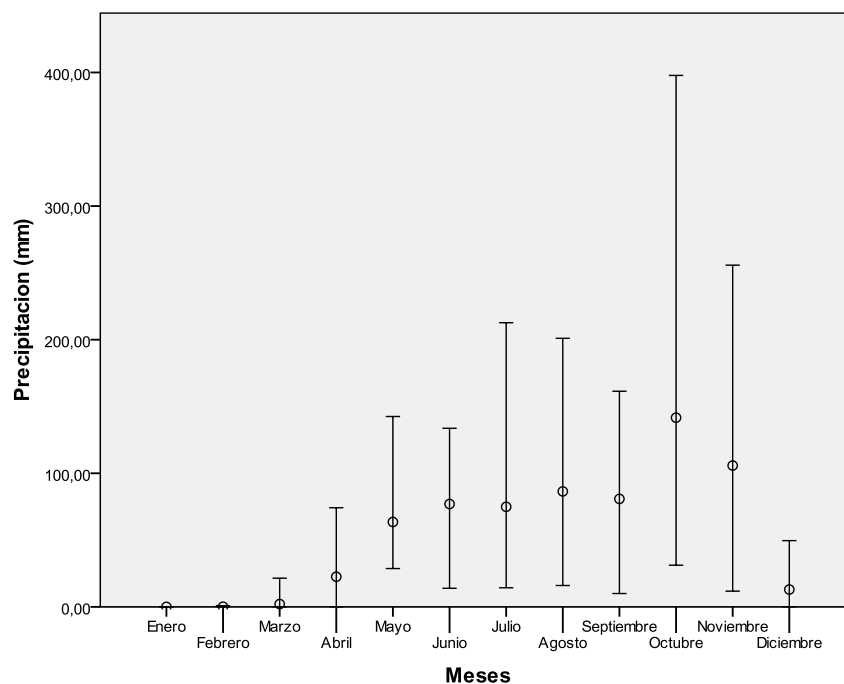


Figura 5. Comportamiento del régimen de pluviosidad con datos agrupados

En la figura 5, se observa más fluctuación en los valores máximos y mínimos con respecto a la media, en los meses de octubre y noviembre de los datos obtenidos de la precipitación mensual de los últimos diez años, lo que indica que hubo comportamientos anormales de precipitación.

Estos comportamientos atípicos se deben a la ocurrencia de algunos eventos climáticos, los cuales afectan las variables del clima, trayendo como consecuencia que se presenten valores extremos de las mismas, en comparación al de las tendencias de un análisis en periodos largos de tiempo. Ejemplo de lo anterior, es el aumento de las precipitaciones debido al cambio climático, el cual aumenta la frecuencia y la severidad de eventos climáticos extremos, como lo es el caso de las fuertes lluvias y sequías (PNUMA, 2005; Lorente *et al.*, 2004).

Estudio realizado por Tapias *et al.* (2011) mostró que el indicador más claro del cambio climático es el incremento de la intensidad de la lluvia; ya que se determinó que en un periodo de 24 horas, los días con determinadas precipitaciones (>30 mm) aumentaron con respecto al comportamiento de varios años, al igual que la lámina de agua, siendo esta casi el doble del valor marginal.

En los meses mencionados anteriormente (octubre y noviembre), que fueron los que presentaron valores anormales de precipitación son indicados en la figuras 6 y 7, ya que muestran las fechas exactas en que se presentaron para relacionarla con el evento climático ocurrido en el rango de los años de estudio. Cabe destacar que estos valores tuvieron relación con el cambio climático, tal cual se verá más adelante.

El valor máximo de la muestra agrupada fue en el mes de octubre con un valor de 397,8 mm, el cual se presentó en el mes de octubre; y el mínimo de 0 mm (haciendo referencia a que no se presentó precipitaciones), en mayor proporción en los meses de enero, febrero y marzo, y en menor proporción en los meses de abril y diciembre.

Estos valores coinciden con los reportados por la literatura, ya que el mes de octubre está en el rango de los meses en el que se reportan las principales precipitaciones en el área de estudio (a principios de septiembre hasta mediados de noviembre); los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre, no se presentan lluvias o si se presentan son con poca intensidad (Mertins, 1972).

En términos generales, los meses húmedos en Santa Marta, se presentan en mayor proporción entre los meses comprendidos de septiembre hasta noviembre, y en menor proporción de mayo a junio; los periodos secos o pobres en lluvias están comprendidos de diciembre hasta abril (Mertins, 1972).

Lo anterior indica que aunque se presentaron valores de precipitación mensual muy por encima al del promedio, fueron generados en los meses húmedos: en octubre una precipitación total de 397,8 mm/mes con promedio de 141,61 mm/mes, y en noviembre, una precipitación total de 255,8 mm/mes con un promedio de 105,78 mm/mes; siendo ambos los datos máximos de la muestra. En enero se obtuvo el valor mínimo promedio de la precipitación total mensual con una media de 0,01 mm/mes, el cual equivale al mes más seco y homogéneo del año, y además en este no se presentó ningún dato extremo en cuanto a la magnitud de lluvia, por lo que su comportamiento fue típico.

En las siguientes figuras se muestran las tendencias de los datos de precipitación total mensual de los años comprendidos entre el 2002 hasta 2006 (Figura 6), y del 2007 al 2011 (Figura 7).

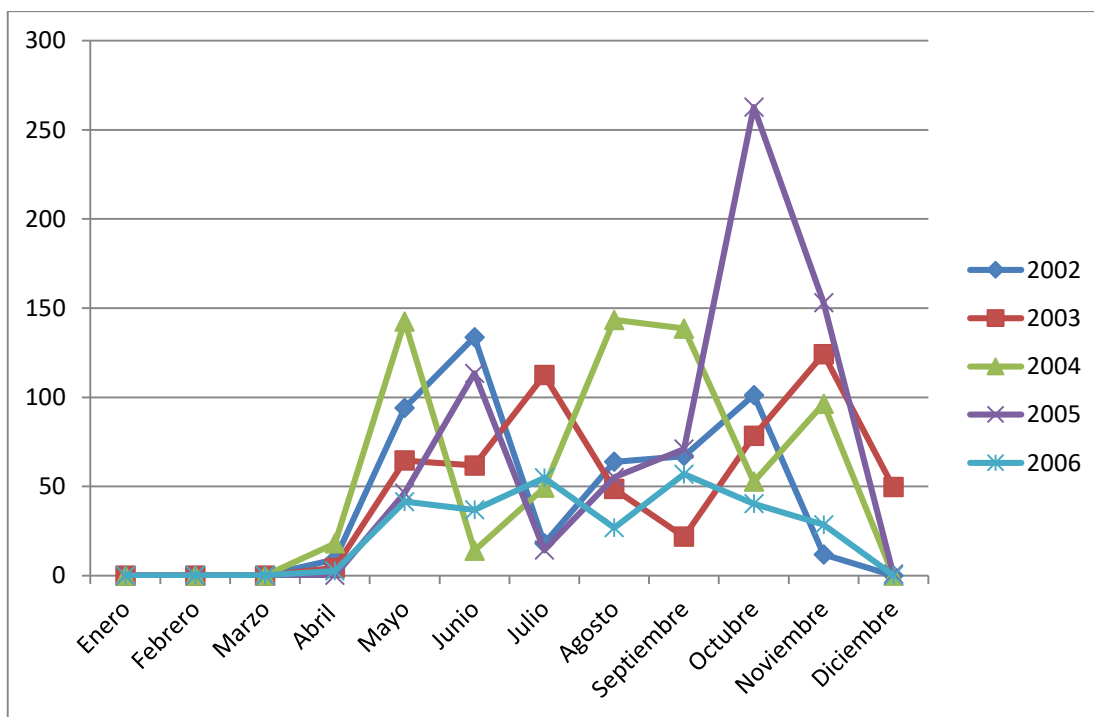


Figura 6. Comportamiento del régimen de pluviosidad con datos desagrupados (años: 2002-2006)

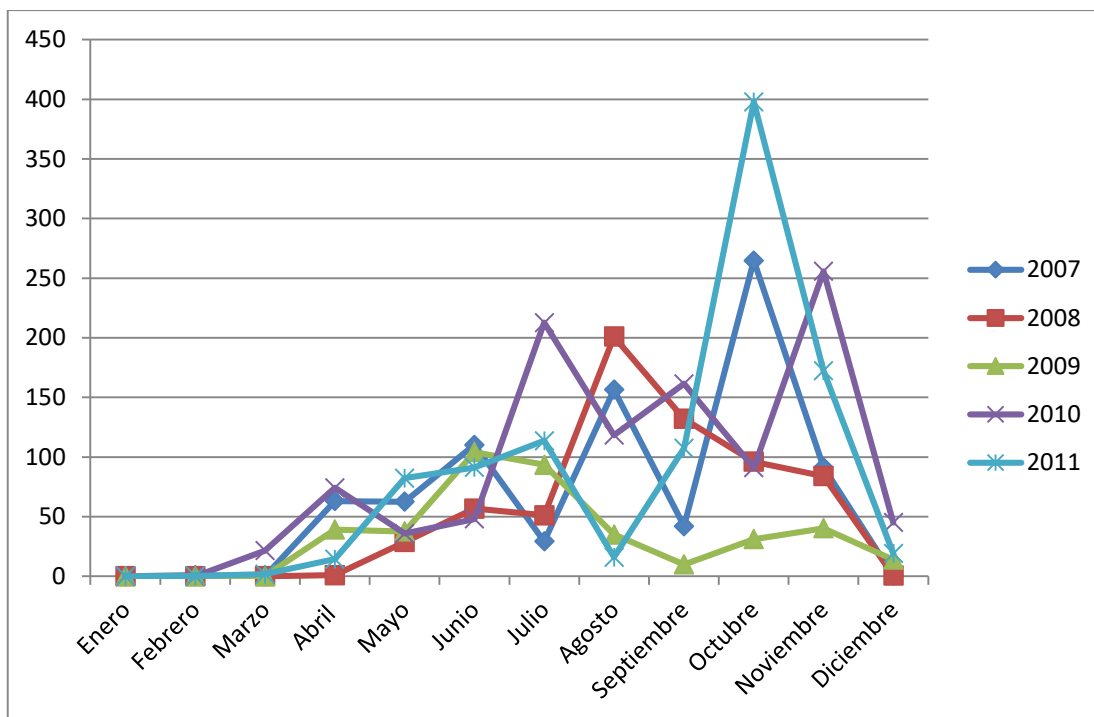


Figura 7. Comportamiento del régimen de pluviosidad con datos desagrupados (años: 2007-2011)

Los resultados de los análisis estadísticos de los datos de precipitación total mensual fueron los siguientes: Promedio anual de 668,15 mm/año, la media mensual de 55,68 mm/mes, la varianza de 4639,89 unidades cuadradas de precipitación en milímetros y la desviación estándar de 68,40 mm/mes. Este último hace referencia a la variabilidad de los datos con respecto a la media, siendo este muy distante al de los valores más secos y húmedos (0 mm/mes y 397,8 mm/mes, respectivamente), lo que indica que en la precipitación mensual en un determinado año es muy variable, en el que se presentan periodos secos y húmedos.

El valor promedio de la precipitación total anual reportada en Santa Marta es de 500 mm/año (Mertins, 1972). El promedio anual calculado en los años de estudio lo excedió en 168,15 mm (668,15 mm/año). La razón por la que se obtuvo esta gran diferencia fue por los eventos climáticos ocurridos dentro del rango del periodo de estudio, en los que se presentaron datos elevados de precipitación, los cuales hicieron que el promedio incremente, al ser este sensible a los valores extremos del conjunto de datos (Escobar, 2005).

En la figura anterior, ilustra que los valores extremos se dieron en noviembre de 2010 y octubre de 2011, con una precipitación total de 255,8 mm/mes y 397,8

mm/mes, respectivamente; de los cuales se tiene registro de eventos climáticos relacionados en estas fechas.

En el 2010, se reporta la anomalía climática del fenómeno de la niña, que comenzó desde el mes de junio alcanzando hasta noviembre; en este último se reportaron casi 2 millones de afectados, con 246 muertes como consecuencia de dichas anomalías (Rodríguez, 2011). Es por esta razón que este año fue el más lluvioso de la muestra analizada, en el que se registró una precipitación total de 1064 mm/año en el área de estudio, que fue un poco más que el doble del promedio registrado por varios años.

En este año, el promedio estimado fue 88,67 mm/mes, el cual fue mayor al calculado de toda la muestra (55,68 mm/mes), que fue debido a la anomalía climática mencionada anteriormente, además la desviación estándar fue muy alta 83,27 mm/mes, lo que indica que hubo mayor variación en los datos con respecto a la media, en comparación al de todos los 10 años de estudio (68,40 mm/mes).

El promedio en el mes de noviembre fue de 105,78 mm/mes, siendo mayor al de la media de toda la muestra, ya que este es un mes húmedo, lo que es lógico porque el promedio del conjunto de datos involucra también épocas secas, como lo es el caso del mes de enero. En este mes se estimó una desviación estándar de 74,06 mm/mes, lo que también indica que hubo alta variación de los datos con respecto a la media, indicando que este es el segundo mes más heterogéneo de la muestra.

Otros eventos climáticos se registraron en el mes octubre de 2011, en el que se reporta en el litoral Caribe norte y centro, una onda tropical y un sistema de baja presión del Darién, para la primera dejó lluvias fuertes y para la segunda fuertes precipitaciones con tormentas eléctricas (CIOH, 2011). Este año fue el segundo más lluvioso con una precipitación total de 1016,1 mm/año, promedio de 84,68 mm/mes y desviación estándar de 113, 73 mm/mes, por ende fue el año más heterogéneo del conjunto de datos analizados.

El mes más lluvioso como se había mencionado anteriormente fue octubre, al presentarse un promedio de 141, 61 mm/mes y una desviación estándar de 122, 98 mm/mes, por lo que fue también el mes más heterogéneo. El mes más homogéneo fue el mes de enero, presentando una precipitación promedio de 0,01 mm/mes y una desviación estándar de 0,03 mm/mes.

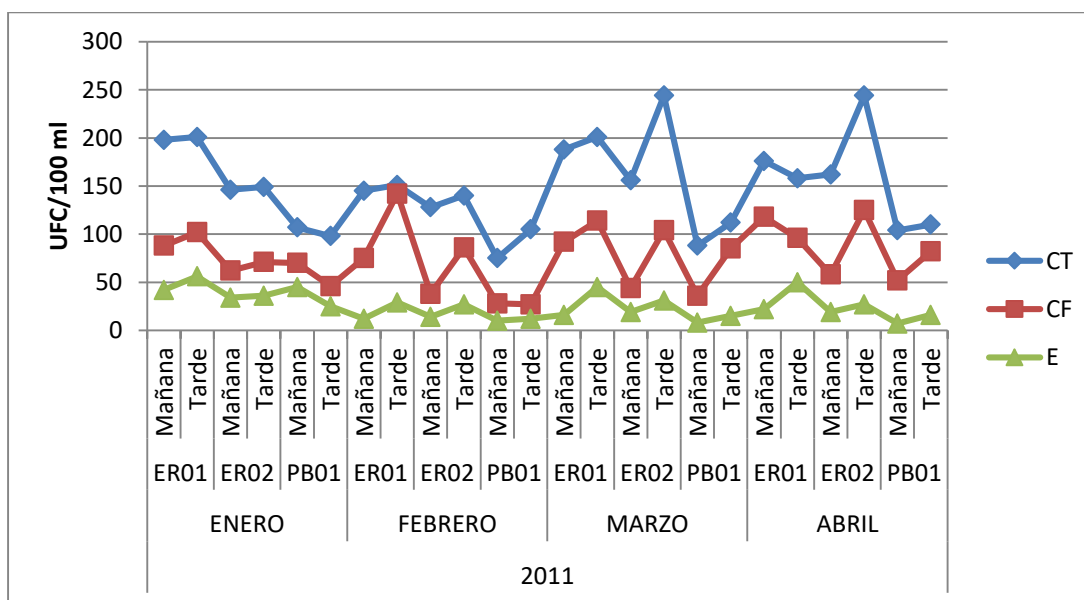
Por otro lado, el año que más se pareció al promedio fue el mes del 2002, al estimársele una precipitación total de 498,63 mm/año, que fue muy parecida a la del promedio de varios años (500 mm/año).

7.2 FASE 2: TOMA DE DATOS DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Los datos de los parámetros microbiológicos tomados de los muestreos del grupo SISCO en el 2011 se representaron por medio de tres gráficos de líneas de tendencias (figura 8, 9 y 10). La abreviación [CT], corresponde a coliformes totales, [CF] a coliformes fecales y [E] a enterococos. En estos gráficos se observa la variación de los parámetros microbiológicos de la arena en las playas de estudio, teniendo en cuenta los puntos de muestreo, el mes y la hora en que se tomó la muestra.

7.2.1 Tendencias de los parámetros microbiológicos

En las siguientes figuras (8, 9 y 10) se describe el comportamiento de los datos monitoreados de los indicadores de contaminación fecal recopilados en la base de datos del grupo SISCO en el 2011.



CT: Coliformes totales. CF: Coliformes fecales. E: Enterococos

Figura 8. Comportamiento de los parámetros microbiológicos analizados

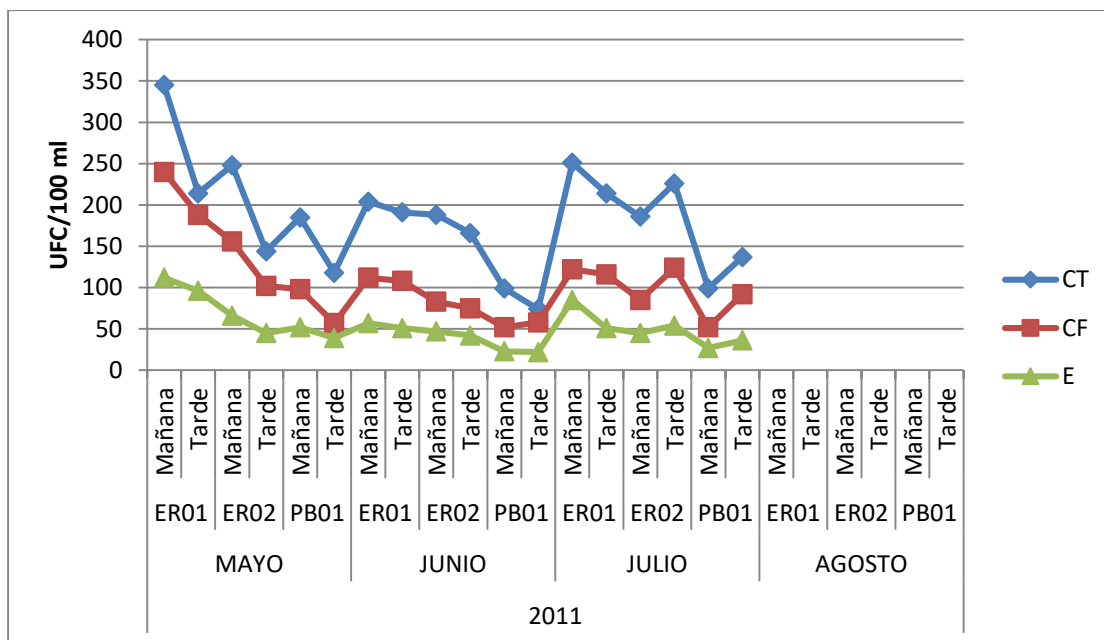


Figura 9. Comportamiento de los parámetros microbiológicos analizados (continuación 1)

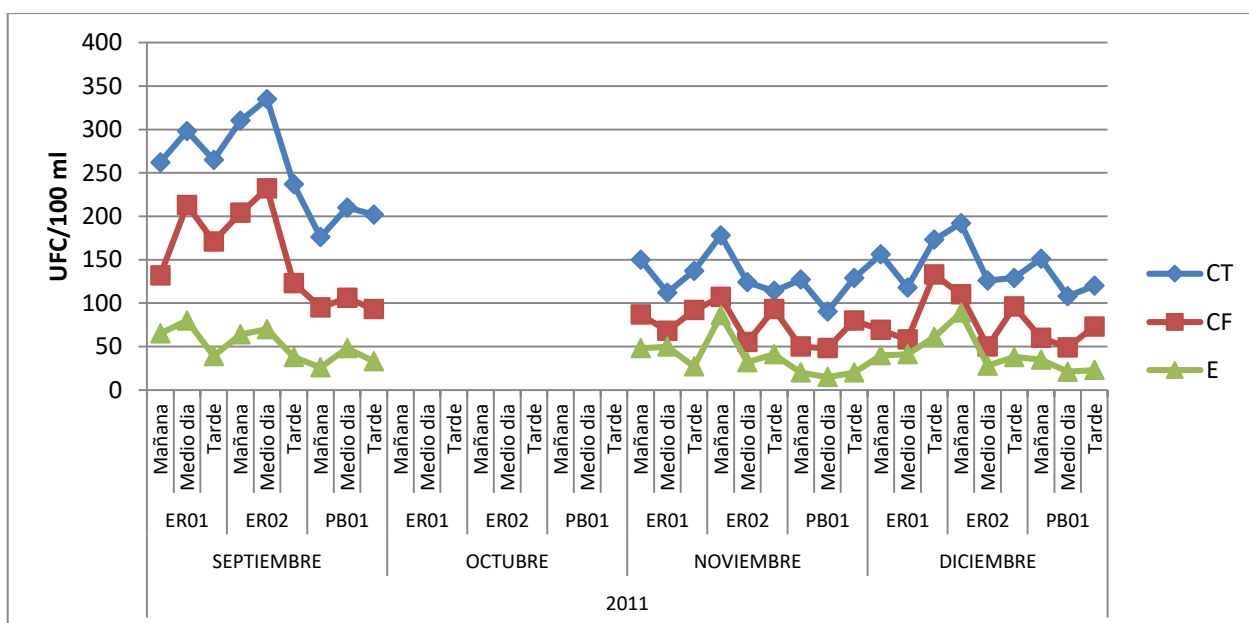


Figura 10. Comportamiento de los parámetros microbiológicos analizados (continuación 2)

En las figuras 9 y 10, se observa que en los meses de agosto y octubre no hubo datos debido a que en esos meses no se realizó muestreo. El valor más alto de la concentración de los indicadores microbiológicos se presentó en el muestreo de la mañana correspondiente al punto de muestreo ER01, siendo reportados para coliformes totales 345 UFC/100 ml, coliformes fecales 240 UFC/100 ml y enterococos de 89 UFC/100 ml.

Lo anterior puede ser relacionado con que en ese muestreo el grupo SISCO en el monitoreo de residuos sólidos reportó por medio de conteo de los mismos, la mayor cantidad de residuos con un total de 154 unidades, incluyendo papel, plástico, residuos de comida, entre otros; los cuales pudieron servir como aporte de contaminación microbiológica, ya que muchas veces los residuos están asociados con la contaminación microbiológica (Iñiguez *et al.*, 2007a). Y por otro lado, dentro de las fechas en que fueron realizados los muestreos, fue la única que presentó precipitación, con un rango de 15 a 25 mm, lo que pudo arrastrar contaminantes a la zona arenosa donde se tomó la muestra, y de esta manera incrementar la concentración de estos indicadores microbiológicos.

Los valores mínimos, se dieron en el muestreo del medio día del mes de noviembre en el punto de muestreo PB01, siendo los valores de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos, 90, 48 y 15 UFC/100 ml, respectivamente.

De manera general, los valores de la concentración de los indicadores microbiológicos de calidad sanitaria de arena fueron más bajos en Playa Blanca (PB01) en comparación al Rodadero (ER01 y ER02), lo que puede ser explicado por los siguientes aspectos: Es una playa con menos carga turística, lo que se evidenció en el informe de los monitoreos del 2011 realizados en el proyecto ICAPTU por Botero *et al.* (2011), el cual mostró que el valor mínimo de usuarios se dio en Playa Blanca con un total de 96 personas reportadas y el máximo en El Rodadero con un total de 1049 personas, pudiendo incidir en la contaminación microbiológica como origen de sus actividades (Campos *et al.*, 2008); además no posee sector hotelero al ser una playa que no tiene acceso por vía terrestre; se encuentra más alejado de desembocadura del río Gaira, siendo esta una fuente de contaminación que drena sus aguas al mar que a lo largo de su cauce reciben las descargas de aguas domésticas, aguas pluviales, residuos industriales, agrícolas, comerciales y de actividades como construcción, pintura, engrasantes y lubricantes de automóviles (Narváez, 2010). Estudio realizado por Narváez, 2010, encontró asociación significativa en las concentraciones microbianas de enterococos entre el río manzanares y la Bahía de Santa Marta, evidenciando así influencia microbiológica entre estos dos cuerpos de agua adyacentes.

Por otro lado, (Hurtado, 2010).para la playa El Rodadero, fijó cuatro estaciones de monitoreo a lo largo de la misma con la finalidad de medirles los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, teniendo en cuenta los lineamientos de Banderas Azules, entre ellos: Fuentes de vertimientos líquidos, como descargas pluviales, fluviales, directamente en la playa; lugares de atraque de embarcaciones, con muelle o sin él; depósitos o concentración de residuos sólidos que estén en el área de salpicadura de las olas en las condiciones de máxima marea y en las zonas de mayor concentración de visitantes. Esto indica que las diversas fuentes de contaminación existentes pudieron incidir en los valores máximos encontrados en esta playa, ya que estas fuentes de contaminación afectan la zona costera (Garay *et al.*, 2001).

Aunque es evidente que Playa Blanca se encuentra amenazada por aspectos tales como el manejo inadecuado de residuos y aguas residuales (Herrera, 2010), se reportaron los niveles más bajos de los parámetros microbiológicos pero en la actualidad no existe una normativa para la evaluación de la calidad microbiológica de las arenas y su asociación con riesgos epidemiológicos (Narváez, 2010), lo que impide tener un control de riesgo sanitario a los usuarios de la arena al no haber legislación que lo exija.

7.2.2 Análisis de varianza simple (ANOVA simple)

La siguiente tabla resume la significancia de la comparación de medias y medianas de los parámetros microbiológicos evaluados.

Tabla 6. Comparación de medias y medianas de los parámetros microbiológicos evaluados.

Parámetro	Prueba estadística	Valor-P
Coliformes totales	ANOVA	0,0001
Coliformes fecales	ANOVA	0,0006
Enterococos	KRUSKAL-WALLIS	0,0051

Debido a que los resultados estadísticos del valor-p son menor que el nivel de confianza 95% ($\alpha=0,05$), se acepta la hipótesis alterna, para los coliformes totales y fecales, estableciendo la existencia de al menos una diferencia de medias entre un punto de muestreo en relación a los otros; y de igual forma para los enterococos, en que al menos una diferencia de medianas entre un punto de muestreo en comparación al de los demás.

Por otra parte, se realizó la prueba de múltiples rangos LSD con $\alpha=0,05$, con la finalidad de detectar aquellos promedios distintos por puntos de muestreo según la jornada de toma de muestras para todos los parámetros microbiológicos. Los tratamientos de cada parámetro microbiológico para la aplicación del ANOVA y de la prueba LSD fueron: ER01 mañana, ER01 tarde, ER02 mañana, ER02 tarde, PB01 mañana y PB01 tarde.

Una vez aplicada la prueba LSD, se observó que en los coliformes fecales la mayor diferencia de promedios fue de 66,9 entre los tratamientos ER01 tarde y PB01 mañana, siendo significativa e indicando la mayor variación espacio-temporal para este parámetro; y la menor variación entre ER02 mañana y ER02 tarde con una diferencia de 5,2; en cuanto a coliformes totales, entre ER01 mañana y PB01 tarde se presentó la mayor diferencia (87,0) y la menor entre PB01 mañana y PB01 tarde de 0,6; y para enterococos, la mayor fue de 26,4 entre ER01 tarde y PB01 tarde; y la menor de 0,6 entre ER01 mañana y ER01 tarde.

Estos resultados indican que hubo concentraciones que variaron significativamente, alterando los promedios de comparación de los parámetros microbiológicos en sus respectivos puntos de muestreos.

Lo anterior está relacionado con los factores que pueden alterar los niveles de concentración microbiana en un determinado espacio y tiempo, específicamente en la arena, influyen factores como la composición, el tamaño de partícula, el contenido de materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes, la presión osmótica, el oleaje, el efecto de la marea y el aseo diario de la playa, entre otros (Heaney *et al.*, 2009; Vogel *et al.*, 2007; OMS, 2003). A demás estudio realizado por Narváez, 2010 muestra otras fuentes difusas que pueden alterar la calidad tanto de agua como arena, tales como la influencia de las lluvias y de los bañistas, en el que sólo en esta última encontró asociación significativa con los parámetros microbiológicos evaluados, afectándolos proporcionalmente (correlación positiva).

Adicionalmente, hay que tener en cuenta que la arena actúa como un filtro natural, que atrapa los microorganismos provenientes de diversas fuentes y permite que se pongan en contacto con los bañistas, aumentando así el riesgo de contraer enfermedades relacionado con el tiempo de exposición de las personas con los microorganismos patógenos, evidenciando la incidencia con enfermedades gastrointestinales en la arena (Narváez, 2010). Esto hace que se tenga en cuenta la evaluación de diferentes fuentes de contaminación en la arena, que como se ha mencionado es un espacio donde los usuarios pasan tiempos prolongados realizando diversas actividades de recreación, los cuales requieren de óptimas condiciones sanitarias para la prevención de contraer enfermedades.

7.2.3 Base de datos espacial

Se elaboraron cuatro mapas como salidas gráficas a escala 1:10.000 correspondientes a la ubicación geográfica de los puntos de muestreo y a cada parámetro microbiológico evaluado (ver anexo mapas temáticos en SIG). Con respecto a estos últimos fueron representados por barras de colores indicadas en el mapa, en las cuales cada color representa el valor de la concentración de los parámetros microbiológicos digitados en la tabla de atributos.

Las capas fueron editadas en formato Shapefile usando como referencia el sistema de coordenadas geográficas Datum WGS 84 en el formato grados, minutos y segundos. El Shapefile referente a los puntos de muestreos fue levantado en campo por medio de un GPS y los demás se obtuvieron a través de una fotointerpretación de la imagen satelital del servidor en línea Bing Maps. En la siguiente tabla se resume la información de los Shapefiles empleados para las salidas gráficas:

Tabla 7. Resumen de los Shapefile empleados para los mapas elaborados

Shapefile	Geometría	Fuente de edición
Coliformes totales	Punto	Levantamiento GPS
Coliformes fecales	Punto	Levantamiento GPS
Enterococos	Punto	Levantamiento GPS
Canal La Escollera	Línea	Fotointerpretación
Arena de estudio	Polígono	Fotointerpretación
Vegetación	Polígono	Fotointerpretación
Cerro	Polígono	Fotointerpretación
Área construida	Polígono	Fotointerpretación

7.3 FASE 3: CORRELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MICROBIOLÓGICO

Los modelos estimados de regresión y correlación lineal para todos los parámetros microbiológicos evaluados en cada toma de muestra realizada en los puntos de muestreos del área de estudio, relacionados con la precipitación total mensual del 2011, son resumidos en las figuras 11, 12 y 13; las cuales muestran que la línea de regresión lineal está muy alejada de la nube de puntos, indicando poco ajuste al comportamiento lineal. Sin embargo, el anexo 28 resume todos los estadísticos, los cuales indican los resultados obtenidos, así como las conclusiones pertinentes de los análisis obtenidos.

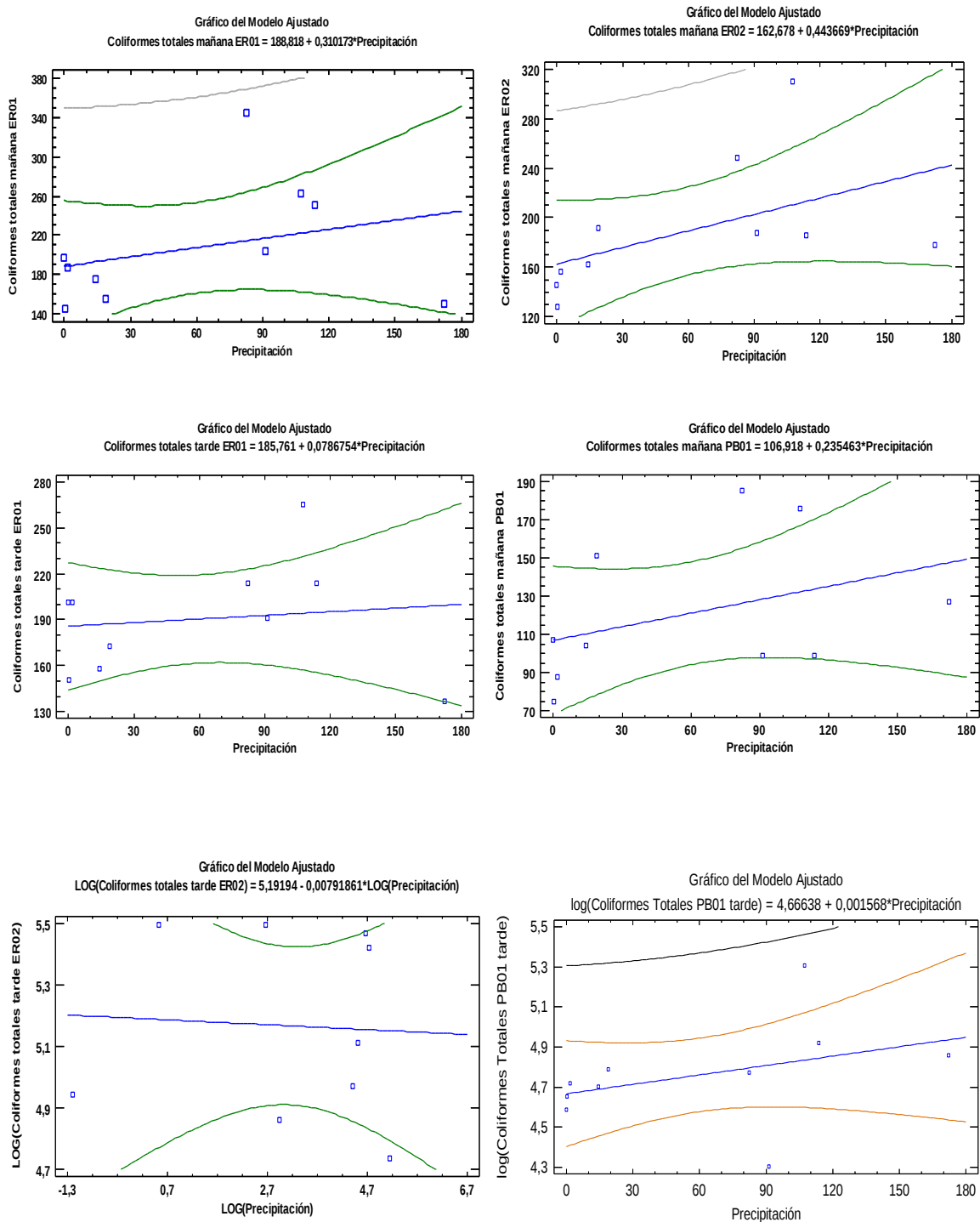


Figura 11. Gráficos de regresión simple generados para Coliformes totales

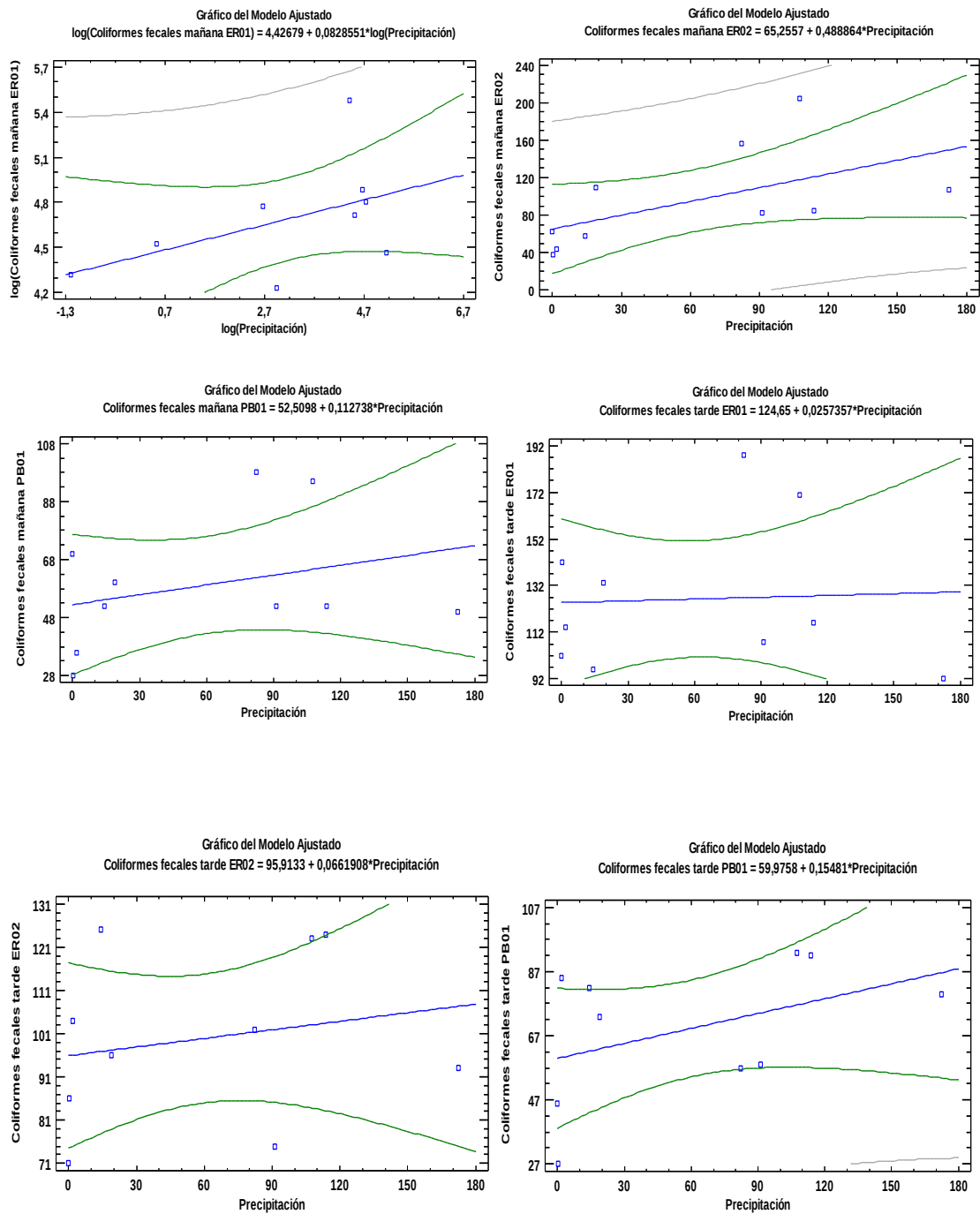


Figura 12. Gráficos de regresión simple generados para Coliformes fecales

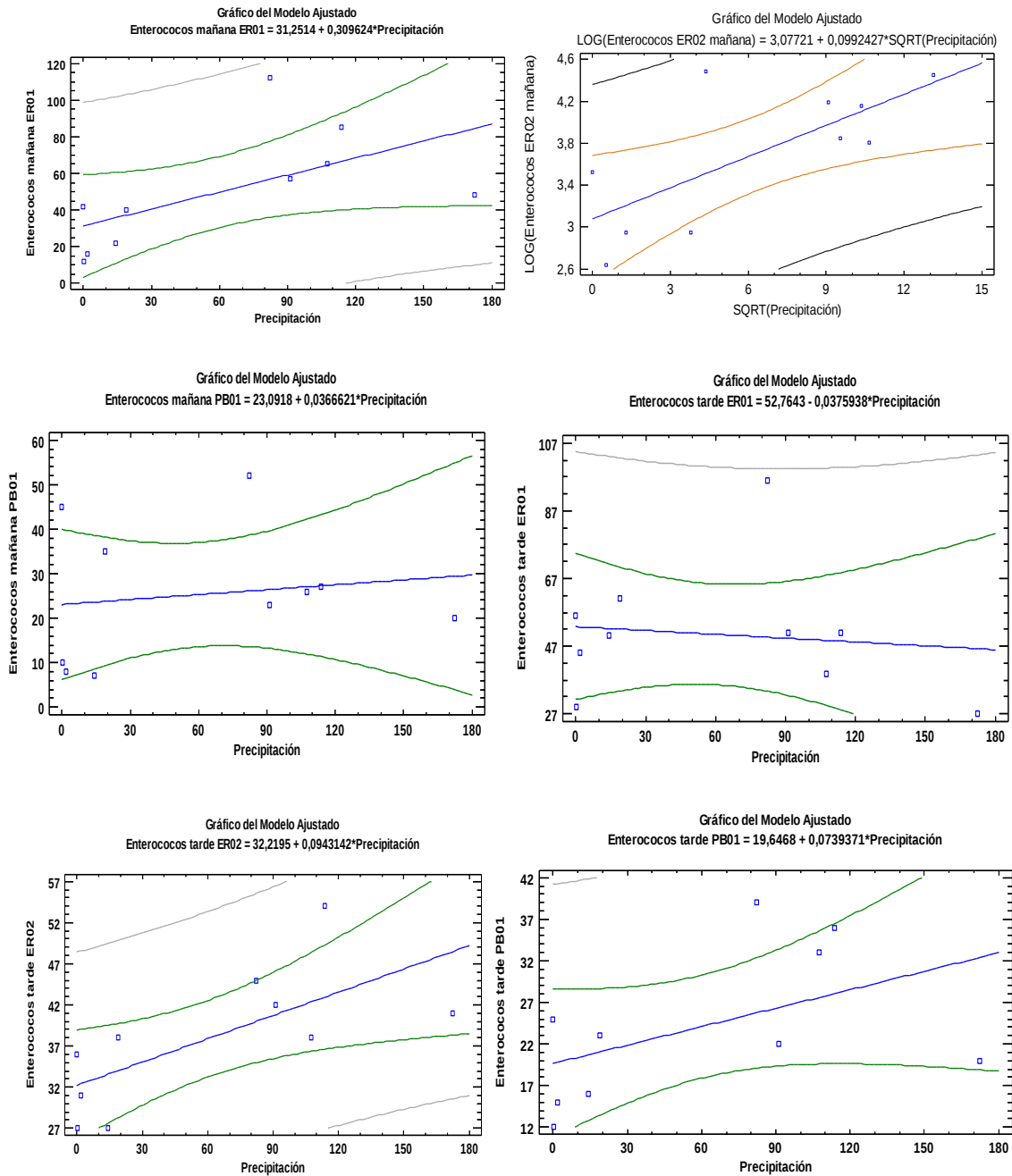


Figura 13. Gráficos de regresión simple generados para enterococos

En síntesis, el resumen estadístico de regresión y correlación (ver anexo 28), muestra lo siguiente: el coeficiente de correlación lineal (r), que indica el grado de correlación de las variables; el coeficiente de determinación (R^2), el grado de confiabilidad del modelo de regresión ajustado, cuando tiende a 0%, se descarta y a 100%, se dice que el modelo tiene alta confiabilidad; con respecto a la ecuación estimada, la variable dependiente (y) corresponde al parámetro microbiológico y la independiente (x) a la precipitación.

Por otra parte, en el mencionado anexo se indica el P-valor, el cual establece si se acepta ya sea la hipótesis nula (no hay relación entre las variables) o la hipótesis alterna (hay relación entre las variables). Si este valor es mayor al nivel de significancia, en este caso 95% ($\alpha=0,05$), se acepta la nula, y si es menor, se acepta la alterna; es decir, el modelo es significativo si el P-valor es menor al $\alpha=0,05$, y no significativo si P-valor es mayor o igual a este valor. En lo referente, a los supuestos del modelo, la prueba de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson y la prueba de Levene's; se requiere valores mayores al nivel de significancia ($\alpha=0,05$), para cumplir con los requisitos ya antes mencionados. En caso de no cumplir se procedió a la transformación de variables hasta lograr los supuestos requeridos del modelo de regresión lineal. Cabe destacar que todos los modelos resumidos tienen total cumplimiento de los mismos.

Sólo se obtuvieron dos correlaciones positivas significativas (P-valor $<0,05$), que correspondieron a enterococos en el punto de muestreo ER02 en la mañana ($r=0,71$) y tarde ($r=0,69$). Aunque estos coeficientes de correlaciones lineales son regulares (Rango: 0,60-0,80), el modelo de regresión lineal no es tan confiable, debido a que los coeficientes de determinación (R^2) estimados estuvieron alejados del 100%, siendo estos del 51,60% y 47,72%, respectivamente. En resumen, estos resultados indican que tienen pendiente positiva con poca tendencia a la proporcionalidad directa entre las variables debido al signo positivo del coeficiente de correlación y al ajuste de la ecuación estimado en el coeficiente de determinación, que representa el nivel de confiabilidad de la ecuación.

Por otro lado, el menor valor del coeficiente de correlación lineal para enterococos fue negativo de $r= -0,12$ y no significativo (P-valor $>0,05$), obtenido en el punto de muestreo ER01 en la tarde, lo que indica una regresión de pendiente negativa, totalmente contradictoria tanto a los mencionados coeficientes significativos estimados como al resto de correlaciones y regresiones realizadas para este parámetro, no registrándose correlación entre las variables y el modelo de regresión puede rechazarse por su muy bajo coeficiente de determinación estimado ($R^2=1,40\%$). De manera similar, para este parámetro, se obtuvo una correlación nula no significativa en el punto de muestreo PB01 en la jornada de la mañana ($r=0,14$) y su coeficiente de determinación muy parecido ($R^2=2,14\%$),

difiriendo únicamente en la tendencia a una pendiente positiva en el modelo de regresión. En estos dos últimos casos, es rechazada la ecuación debido a la poca confiabilidad del ajuste de la ecuación.

En cuanto a los coliformes totales, el valor menor del coeficiente de correlación fue de $r=-0,06$, perteneciente al grado de correlación nula, estimado en los muestreos de la tarde en el punto de muestreo ER02 y el mayor de correlación mínima ($r=0,5$) en la mañana del mismo punto de muestreo. Al igual que todos las correlaciones de este grupo, en ambos casos no fueron significativos y su coeficiente de determinación fueron bajos con un valor de 0,32% y de 25,73%, respectivamente. Este último coeficiente fue el más alto, indicando que todos los modelos estimados en este grupo de regresión tienen confiabilidad baja por lo que pueden ser despreciados.

En el caso de los coliformes fecales, los coeficientes de correlación no fueron significativos, el valor mínimo fue nulo ($r=0,048$), obtenido en el punto de muestreo ER01 de la tarde y el mayor mínimo ($r= 0,57$) en el de muestreo ER02 de la mañana. Los coeficientes de determinación fueron para el primero de 0,24% y el segundo de 32,67%, por lo que no se tuvo un buen modelo para representar el comportamiento de manera lineal tanto para este parámetro como para los otros.

En síntesis, los resultados de las correlaciones entre los indicadores de contaminación microbiológica y la precipitación fueron únicamente significativos para enterococos fecales solo en dos casos de seis estimaciones; en estos dos casos se presentó correlación positiva con el nivel de precipitaciones en la categoría regular ($r>0,60$), coincidiendo con los determinados en el estudio de (Narváez, 2010) pero difiriendo en que éste último no fue significativo.

Estas correlaciones significativas pueden asociarse con lo que se ha documentado, que tras eventos de lluvias las arenas en la zona de marea pueden contener 2 -100 veces más bacterias fecales que el agua, con concentraciones que pueden alcanzar 103 NMP/g (Sampson *et al.*, 2006), lo que relaciona la precipitación y la calidad microbiológica en arenas de playa.

Sin embargo, tal como se mencionó anteriormente, fueron contradictorios los resultados tanto para este parámetro como para los demás, lo que pudo ser debido a que en los monitoreos no se tuvo en cuenta para la toma de muestra el periodo máximo de 24 horas posterior al cese de las precipitaciones (Ackerman y Weisberg, 2003, Noble *et al.*, 2003), que podría incidir en el tiempo de permanencia de los microorganismos, ya que son sensibles a los cambios en el ambiente (Yamahara *et al.*, 2009; Byappanahalli *et al.*, 2006), además de que los microorganismos fecales pueden sobrevivir en los sedimentos, en estado viable,

por semanas o meses (Yamahara *et al.*, 2009; Brownell *et al.*, 2007, Sampson *et al.*, 2006).

El factor tiempo de estabilización de los indicadores microbiológicos junto con los otros factores (ya mencionados) que pueden incidir en la permanencia y supervivencia de estos, tales como, composición, el tamaño de partícula, el contenido de materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes, la presión osmótica, el oleaje, el efecto de la marea y el aseo diario de la playa, entre otros. Dichos factores pueden contribuir a que las variables de estudio no obedezcan a un modelo de regresión simple debido a su influencia sobre la concentración microbiana en la arena.

Lo anterior puede evidenciarse en los estudios cuyos resultados han sido contradictorios, teniendo en cuenta la presencia de coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y estreptococos fecales en arena de playa y su relación con los recuentos en las aguas adyacentes, ya que ha habido estudios que han mostrado mayor concentración en arena que en el agua y viceversa (OMS, 1998). También en lo encontrado en el estudio realizado por Narvaez (2010), en el que a pesar que tuvo en cuenta el tiempo recomendado para la toma de muestra (periodo máximo de 24 horas posterior al cese de las precipitaciones), sus resultados no fueron significativos, debido a que no hubo relación entre el efecto de las lluvias y la concentración de los indicadores de contaminación fecal, pero si hubo relación de estos con los bañistas; lo que no permite estimar un modelo de regresión lineal simple que pueda predecir la concentración microbiana teniendo en cuenta la precipitación.

Es por ello que se sugiere la aplicación de un modelo de regresión múltiple que tenga en cuenta todos los factores relacionados con la calidad de arena y de esta manera se pueda obtener una ecuación que permita describir el comportamiento de cada parámetro microbiológico en relación a varias variables.

8. CONCLUSIONES

- Se logró describir al comportamiento multianual de la precipitación en el área de estudio, comparándolo con eventos climáticos registrados en bases de datos científicas.
- No se pudo estimar un modelo de regresión lineal con un alto grado de confiabilidad. Esto hace que el modelo no permita predecir la concentración de los parámetros microbiológicos con relación a la magnitud de la precipitación en el área de estudio.
- La concentración de todos los parámetros microbiológicos no fue la misma en comparación de todos los puntos de muestreos, basado en la prueba estadística de comparación de medias o medianas, dependiendo del comportamiento en cuanto a la normalidad de las variables.
- Los resultados de los modelos de regresión y correlación lineal, no permitieron demostrar relación entre la precipitación y los parámetros microbiológicos evaluados en esta investigación. Sólo se obtuvieron dos correlaciones significativas para enterococos fecales y el resto de correlaciones no fueron significativas, mostrando resultados contradictorios en los que no se puede aceptar la idea de que hubo relación entre la concentración bacteriana y la precipitación.

9. RECOMENDACIONES

A partir de la elaboración de este trabajo se recomienda lo siguiente:

- Aplicar un modelo que involucre más parámetros representativos para el modelo de regresión, en este caso que se aplique una regresión multivariada involucrando más variables que puedan incidir en la concentración de los parámetros microbiológicos en la arena.
- Definir estándares de calidad microbiológica de arena, que si bien se han detectado microorganismos indicadores de calidad microbiológica pueden colocar en riesgo la salud de las personas que realizan diversas actividades en la arena de la playa. A la fecha en Colombia no existe legislación que regule la calidad sanitaria de la arena de playa.
- Realizar un estudio que muestre el tiempo en que los parámetros microbiológicos tiendan a estabilizarse después de eventos de precipitación para reducir riesgos epidemiológicos en la arena de las playas de estudio, sirviendo como medida de manejo para cuidar la salud de los usuarios.
- Incluir en el monitoreo de calidad de playas, el sistema de alertas para la aparición de eventos, principalmente el de precipitación y su grado de afectación en la calidad sanitaria tanto del agua como la arena.
- Consolidar una base de datos espacial para los datos monitoreados por el proyecto ICAPTU, y así realizar posteriores análisis SIG, que sirvan como herramienta para la toma de decisiones en el sistema costero de estudio.

10.LIMITACIONES

En esta investigación se tuvo total cumplimiento de las actividades propuestas en el anteproyecto, sin embargo se tuvieron básicamente dos inconvenientes, siendo estos los siguientes:

- Inicialmente se había propuesto describir y analizar estadísticamente los meses comprendidos entre Mayo de 2011 hasta Abril de 2012, sin embargo, los datos de 2012 no se encontraron en la base de datos, pero se compensó esta carencia de datos, incluyendo los meses restantes del 2011 hasta completar así el año de estudio (2011), aunque en este mismo no hubo muestreo en los meses de Agosto y Octubre. De manera similar, el análisis del muestreo del medio día no se pudo analizar por lo que en todos los meses de ese año sólo fueron realizados tres monitoreos en ese horario.
- Los datos que se tenían en la base de datos eran fijos según los monitoreos programados por el grupo SISCO, sin tener en cuenta la medición puntual de la precipitación en el momento de la toma de muestra, lo que pudo afectar considerablemente las estimaciones estadísticas (aunque se tuvo en cuenta la obtención de los datos por bases meteorológicas del IDEAM, tal como se había propuesto en el anteproyecto). En pocas palabras, no se pudo tener información de la magnitud de precipitación en la fecha del muestreo porque en la mayoría de estos no se presentó lluvia, lo que impidió recopilar datos para comparar contemporáneamente con el día del monitoreo.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Ackerman, D y S. Weisberg (2003). Relationship between rainfall and beach bacterial concentrations on Santa Monica Bay beaches. *Journal of Water and Health*. 1:85-89.
- Alonso, D., Sierra-Correa, P., Arias-Isaza, F y M. Fontalvo (2003). Conceptos y Guía Metodológica para el Manejo Integrado de Zonas Costeras en Colombia, manual 1: preparación, caracterización y diagnóstico. Serie de Documentos Generales de INVEMAR No.12, 94p.
- APHA/AWWA/WEF (2005). Standard Methods for the examination of water and wastewater. APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association), WEF (Water Environment Federation) Washington 570.p
- Aulicino FA, Volterra L, Donati G (1985). Faecal contamination of shore-line sands. *Bollettino della Società Italiana di Biologia Sperimentale*, 61(10): 1469-1476.
- Barragán, J. M. (2003). Medio ambiente y desarrollo en áreas litorales: Introducción a la planificación y gestión integradas. Cádiz, España: Publicaciones Universidad de Cádiz.
- Blanch, A., J. Caplin, A. Ivensen, I. Kühn, A. Manero, H. Taylor y X. Vilanova. (2003). Comparison of enterococcal populations related to urban and hospital wastewater in various climatic and geographic European regions. *Journal of Applied Microbiology*. 94: 994 – 1002.
- Botero, C., Pereira, C. y Escudero E. M. (2011). INFORME DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CALIDAD AMBIENTAL DE PLAYAS TURÍSTICAS (CAPT) EN EL CARIBE NORTE COLOMBIANO 2010 – 2013. PERIODO AGO-DIC DE 2010. Documento de trabajo, Grupo de Investigación en Sistemas Costeros, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia
- Botero, C., Zielinski, S., Pereira, C. y Escudero E. M. (2012). INFORME DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CALIDAD AMBIENTAL DE PLAYAS TURÍSTICAS (CAPT) EN EL CARIBE NORTE COLOMBIANO 2010 – 2013. PERIODO EN – DIC 2011. Documento de trabajo, Grupo de Investigación en Sistemas Costeros, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia
- Brownell, M.J., V.J. Harwood, R.C. Kurz, S.M. McQuaig, J. Lukasik y T.M. Scott. (2007). Confirmation of putative stormwater impact on water quality at a Florida beach by microbial source tracking methods and structure of indicator organism populations. *Water Research*. 41: 3747 – 3757.

- Buitrago, N. (2009). Contribución antropogénica a los cambios geomorfológicos y evolución reciente de la costa Caribe Colombiana. *Gestión y Ambiente*, 12 (2):43-56.
- Byappanahalli, M., R.L. Whitman, D.A. Shively, W.T. Ever Ting, C. C. Tseng y M. B. (2006). Nevers. Seasonal persistence and population characteristics of *Escherichia coli* and enterococci in deep backshore sand of two freshwater beaches. *Journal of Water and Health*. 4: 313-320.
- Campos, C., Cárdenas, M., y Guerrero, E. (2008). Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas de la Sabana de Bogotá (Colombia). *Publicaciones Facultad de Ciencias Universidad Javeriana*, 13 (2): 103-108.
- Carrillo, E., y Lozano, A. (2008). Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando agar chromocult. Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH (2008). Climatología de los Principales Puertos del Caribe Colombiano. Cartagena de Indias D.T.C.H.: Escuela Naval “Almirante Padilla”.
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH (2011). Seguimiento de las condiciones meteorológicas y oceanográficas en el Caribe Colombiano 2011. Área oceanografía operacional Cartagena.
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH. (1995). Monitoreo de algunos parámetros físico-químicos y microbiológicos en aguas del litoral de Santa Marta y áreas adyacentes (Muestreo I). Cartagena D.T.C.H.; Escuela Naval “Almirante Padilla”, 18 p.
- Chow, V., Maidment, D., y Mays, L. (2000). Hidrología aplicada. Editorial Nomos S.A., impresión en Colombia. ISBN: 958-600-171-7.
- COFEPRIS. (2004). Lineamientos para determinar la calidad de agua de mar para uso recreativo con contacto primario. Secretaría de salud. México, DF. 14p.
- Conseil Supérieur d' Hygiène Publique de France, (1990) Qualité microbiologique des sables: essai d' un nouveau procédé de désinfection.
- Cordero, E. (2011). Ordenamiento territorial, justicia ambiental y zonas costeras. Universidad Católica de Valparaíso, Chile. *Revista de Derecho (Valparaíso)*: 209-249.
- Cortés, M. (2003). Importancia de los Coliformes fecales como indicadores de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de banderas Jalisco-Nayarit. *Rev. Biomed.* 14: 121-123.
- De la Rosa M. C., Mosso M. A., y Ullán C. (2002). El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Observatorio medioambiental*, 5, 375-402.

- Dirección General de Puertos y Costas (DGPYC). (2002). Libro Blanco de la Costa Valenciana. Generalit Valenciana. Valencia. 1-262.
- Elmir, M., Wright, M., Abdelzaher, A., Gabriele, H., Fleming, L., Miller, G., Rybolowik, M., Shin, M., Pillai, S., Cooper, J., y Quaye, E. (2007). Quantitative evaluation of bacteria released by bathers water research, 41: 3-10.
- Enríquez, G. (2003). Criterios para evaluar la aptitud recreativa de las playas en México: una puesta metodológica. Gaceta ecológica. 68: 55-68.
- Escobar, M. (2005). Módulo de estadística descriptiva. Universidad Nacional, Abierta y a Distancia. Facultad de ciencias básicas e ingeniería. Bogotá, D.C., 151 p.
- Franco, A. (2005). Oceanografía de la Ensenada de Gaira: El Rodadero más que un Centro Turístico en el Caribe Colombiano. Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Fuentes, J. (2000). Iniciación a la meteorología y la climatología. Edición Mendi- Presa, impresión en España. ISBN: 84-7114-869-2.
- Fujioka, R.; C. Sian-Denton; M. Borja; J. Castro and K. Morpew (1999). Soil: the environmental source of Escherichia coli and enterococci in Guam's streams. J. Appl. Microbiol. Symp. Suppl. 85: 83S- 89S.
- Garay, J., Marín, B., y Vélez, A. (2001). Contaminación marino-costera en Colombia. INVEMAR, Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia.
- Garcia, A., y Albuquerque, G. (2003). El turismo cultural y el de sol y playa: ¿Sustitutivos o complementarios? Universidad de Murcia, España. Cuadernos de Turismo., 011: 97-105.
- Gomez, M., Peña, P., y Vásquez, M. (1999). Determinación y diferenciación Escherichiacoli y coliformes totales usando sustrato cromógeno. Laboratorio Central. Aquagest. Galicia, España.
- Hayes (1993). Microbiología e Higiene de los Alimentos. ACRIBIA. Zaragoza, España.
- Heaney, C.D., E. Sams, S. Wing, S. Marshall, K. Brenner, A.P. Dufour y T.J. Wade. (2009). Contact With Beach Sand Among Beachgoers and Risk of Illness. American Journal of Epidemiology. 170 (2):164–172.
- Herrera, A y P. Suárez (2005). “Indicadores bacterianos como herramientas para medir la calidad ambiental del agua costera”. INCI, 30(3): 171- 176.
- Herrera, J.F. (2010). Modelo de gestión costera para playas turísticas del Caribe Colombiano. Aplicación, Playa Blanca, Magdalena, Colombia. Tesis para optar el título de Magíster en Manejo Integrado Costero, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. 172 pp.

- Hurtado de la Barrera, Jacqueline. (2007). Metodología de la investigación. Una comprensión holística. Caracas, Venezuela. Ediciones Quirón- Sypal. Caracas
- Hurtado, Y., Botero, C., y Herrera, E. (2009). Selección y propuesta de parámetros para la determinación de la calidad ambiental en playas turísticas del Caribe Colombiano. Ciencia en su PC 4: 42-53.
- Hurtado, Y.P. (2010). Determinación de un modelo de medición de capacidad de carga en playas turísticas de uso intensivo, como herramienta para el manejo integrado costero. Aplicación en la playa El Rodadero (Santa Marta, Colombia). Tesis para optar el título de Magíster en Manejo Integrado Costero, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. 130 pp.
- ICONTEC – Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2007). Norma Técnica Sectorial Colombiana NTS-TS-001-2 que establece los requisitos de sostenibilidad para destinos turísticos de playa. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Bogotá D.C.
- Iglesias, I., Johnson, V., y Ritzel, E. (2008). Estrategias de comercialización turística internacional de las playas de Rodadero, Taganga y Bahía Concha. Tesis para optar el título de Magíster en Administración de empresas, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. 98 pp.
- Instituto de investigaciones marinas y costeras José Benito Vives de Andreis (INVEMAR). (2006). Cartografía dinámica en línea de la calidad sanitaria de las playas.
- Iñiguez, L., Gutiérrez, C., Miramontes, L., y López, A. (2007a). El impacto de la actividad turística en la calidad bacteriológica del agua de mar. Gaceta Ecológica, 8, 69-76.
- Iñiguez, L., Gutiérrez, C., Pérez, R., Covarrobias, R., Lopez, A., y Lizagarra, R. (2007b). La gestión integral en playas turísticas: Herramientas para la competitividad. Gaceta Ecológica., 082: 77-83.
- Lévesque, B y D. Gauvin. (2007). Microbiological guideline values for recreational bathing in Canada: Time for change? The Canadian Journal of Infectious Diseases & Medical Microbiology. 18 (2):153 – 157.
- Lorente, I., Gamo, D., Gomez, J., Santos, R., Flores, L., Camacho, A., Galindo, L., y Navarro, J. (2004). Los efectos biológicos del cambio climático. Asociación Española de Ecología Terrestre. España.13 (1): 126-135.
- Lorenzo, G. (2009). Primer programa de capacitación en Gobernanza Ambiental de las zonas costero marinas. Ciudad de Panamá de 5 al 15 de mayo de 2009.

- Mallin, M. A., Williams, K. E., Esham, E. C., y Lowe, R. P. (2000). Effect of human development on bacteriological water quality in coastal watersheds. *Ecological applications*, 10(4), 1047 – 1056.
- Mansilha, C., Coelho, C., Heito, A., Amado, J., Martins, J., y Gameiro, P. (2009). Bathing Waters: New directive, New Standards, New Quality Approach. *Marine Pollution Bulletin*. 58, 1562–1565.
- Mertins, G. (1972). El Rodadero (Santa Marta), centro turístico o colonia de vacaciones?. *Miit. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient.*, 6, 151-168.
- Narváez Florez, S. (2010). Evaluación del efecto de las fuentes difusas de contaminación en la calidad microbiológica de las playas de Santa Marta. Tesis de maestría no publicada, Sistema Universitario Estatal del Caribe, Barranquilla.
- Narváez, S., Gómez, M., y Acosta, J. (2008). Coliformes termotolerantes en aguas de las poblaciones costeras y palafíticas de la ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, (pp. 1-4).
- Noble, R., S. Weisberg., M. Leecaster, C.; Mgee, J. Dorsey, P. Vainik y V. Orozco-Borbón, (2003). Storm effects on regional beach water quality along the southern California shoreline. *Journal of Water and Health*. 1 (1): 23 – 31.
- Oliveira JS, Mendes BS, (1991). Poluicao das praias e zonas litorais: Medidas cauterales e normas de qualidade. *Reuniaö o sobre a Gestaö Municipal e a Gestaö da Agua*. APRH/SMAS, Cascais.
- Oliveira JS, Mendes BS, (1992). Qualidade da Agua do Litoral Portugues. 1º Congresso da Agua, 2:155-179. APRH, Lisboa.
- OMS/ PNUMA, (1992) Health risks from bathing in marine waters. MED POL PhaseII. Oficina Regional de la OMS para Europa, Copenhagen. Anexo 5, p. 63.
- OMS/PNUMA, (1994) Microbiological quality of coastal recreational waters. MED POL Phase II. 1994. Oficina Regional de la OMS para Europa, Copenhagen. Anexo 1, p.5.
- Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura (FAO). *La ordenación integrada de zonas costeras y el sector forestal*. Fuente electrónica [en línea], <http://www.fao.org/forestry/icam/4302/es/>, 08/02/2013.
- Organización Mundial de Salud (OMS), (1998). Guía para ambientes seguros en aguas recreativas, vol.1, cap. 5.
- Organización Mundial de Salud (OMS), (2003). Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1: Coastal and fresh water, 219 pp.
- Páez, L. (2008). Validación secundaria del método de filtración por membrana para la detección de coliformes totales *Escherichiacoli* en

muestras de agua para consumo humano analizadas en el laboratorio de salud pública del Huila. Tesis de Pregrado para optar al Título de Microbióloga Industrial. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

- PNUMA. (2005). Cambio climático. Manual de ciudadanía ambiental global. 33 p.
- Portillo, A. (2002). Una estrecha relación entre el turismo, la geografía y el mercado. Universidad de los Andes San Cristobal, Venezuela. *Geoenseñanza*, 1-2 (7): 109-113.
- Posada, P., Blanca, Oliva y Henao P., William. (2008). Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe Colombiano. INVEMAR, serie publicaciones especiales No. 13, Santa Marta, 200 pp.
- Pulido, M., Ávila, S., Estupiñán, S., y Gómez, A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Cundinamarca: Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.
- Ramos, L., Vidal, L., Vilardy, S., y Saavedra, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Acta biol. Colomb.*, 13 (3): 87-98.
- Rodríguez, A. (1996). Turismo e geografía. São Paulo: Editorial Hucitec.
- Rodriguez, A. (2011). Cambio climático, precipitaciones, sociedad y desastres en América Latina: Relaciones y necesidades. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. 28 (1): 165-166.
- Roses M., Isern A., Ferrer M., y Fernandez F. (1988). Microbiological contamination of the sand from the Barcelona city beaches. *Revista de Sanidad e Higiene Pública*, 62(5-8):1537-1544.
- Rubio, M.A., Lissi, E., y Riveros, V. (2001). Remoción de contaminantes por lluvias y rocíos en la región metropolitana. *Bol. Soc. Chil. Quím.*, 46 (3): 553-661.
- Sampson, R.W, S.A. Swiatnicki, V.L. Osinga, J.L. Supita, C.M. McDermott y G. T. Kleinheinz. 2006. Effects of temperature and sand on E. coli survival in a northern lake water microcosm. *Journal of Water and Health*. 4:389-393.
- Shuval, H. (2003). Estimating the global burden of Thalassogenic Disease Human infectious disease caused by wastewater pollution of the marine environment. *Journal of Water and Health* 1(2), 53 – 64.
- Steer, R., F. Arias, A. Ramos, P. Sierra, D. Alonso, P. Ocampo. (1997). Documento base para la elaboración de la “Política nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras colombianas”. Documento de consultoría para el MMA. Serie de publicaciones especiales No. 6. 390 pp.
- Suárez, M. (2002). Tendencia actual del estreptococo como indicador de contaminación fecal. *Revista Cubana Higiene y Epidemiología*. 40(1):38-43.

- Tapias, L., Larios, A., Vidales, I., Pedraza, M., y Barradas, V. (2011). Cambio climático en la zona Aguacatera de Michoacán: Análisis de precipitación y temperatura a largo plazo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2: 325-335.
- USEPA. (2000). Improved Enumeration Methods for the Recreational Water Quality Indicators: Enterococci and Escherichia coli. Office of Science and Technology. Washington, DC. EE.UU. 49 p.
- Vergaray, G., Mendez, C., Morante, H., Heredia, V., Béjar, V. (2007). Enterococcus y Escherichiacoli como indicadores de contaminación fecal en playas costeras de Lima. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG* 10 (20): 82-86
- Vivas-Aguas, L.J., M. Tasic, J. Sanchez, S. Narvaez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt, J. Parra, M. Carvajalino y L. Espinosa. (2012). Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia.-REDCAM. Informe técnico 2011. INVEMAR. Santa Marta, 229 pp.
- Vogel C, R., A. Schatz, H. Laubach, A. Tallman y J. Fell. (2007). Prevalence of yeasts in beach sand at three bathing beaches in south Florida. *Water Research*. 2007; 41(9):1915–1920.
- Yamahara, K.M., P.S. Walters y A.B. Boehm. (2009). Growth of Enterococci in Unaltered, Unseeded Beach Sands Subjected to Tidal Wetting. *Applied And Environmental Microbiology*. 75 (6): 1517–1524.
- Yepes, V. (1999). Las playas en la gestión del litoral. Universidad de Murcia, España. Cuadernos de Turismo., 004: 89-110.
- Yepes, V., y Cardona, A. (2000). Mantenimiento y explotación de las playas como soporte de la actividad turística. El Plan de Turismo Litoral 1991-99 de la Comunidad Valenciana. V Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Ed. Universidad Politécnica de Valencia (2): 857-876.

12. ANEXOS

12.1 Datos recolectados en la investigación

Anexo 1. Base de datos de los datos de precipitación en (mm)

Año	Meses											
	Enero	Febr	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Octub	Nov	Dic
2002	0	0	0,1	9	94	133,7	18	63,8	67	101,2	11,8	0
2003	0	0	0	4,3	64,5	61,7	112,4	48,5	21,8	78,3	124,2	49,6
2004	0	0	0	18	142,5	13,93	49,2	143,4	138,6	52,63	96,4	0
2005	0	0	0	0,03	46,3	113,4	14,3	55,1	71	262,8	153,1	0,8
2006	0	0,03	0,1	2,6	41,4	36,9	54,83	26,8	56,9	40,3	28,5	0,1
2007	0	0,9	0	63,1	62,5	110,1	29,3	156,4	42,03	264,7	91,4	0,5
2008	0	0	0	0,9	28,7	56,8	51,1	201	132,1	96,1	84	0,7
2009	0,1	0	0,1	39,23	37,6	104,1	93,5	35	10	31,2	40,3	14
2010	0	0	21,5	74,2	35,8	48,1	212,7	118,4	161,4	91	255,8	45,1
2011	0	0,3	1,7	14,4	82,3	91,3	113,6	16	107,4	397,8	172,3	19

Anexo 2. Base de datos de los coliformes totales en (UFC/100 ml) de los muestreos del proyecto ICAPU del 2011

Meses	Coliformes totales (UFC/100 ml)					
	10:00 AM			4:00 PM		
	ER01	ER02	PB01	ER01	ER02	PB01
Enero	198	146	107	201	149	98
Febrero	145	128	75	151	140	105
Marzo	188	156	88	201	244	112
Abril	176	162	104	158	244	110
Mayo	345	248	185	214	144	118
Junio	204	188	99	191	166	74
Julio	251	186	99	214	226	137
Agosto	-	-	-	-	-	-
Septiembre	262	310	176	265	237	202
Octubre	-	-	-	-	-	-
Noviembre	150	178	127	137	114	129
Diciembre	156	192	151	173	129	120

Anexo 3. Base de datos de los coliformes fecales en (UFC/100 ml) de los muestreos del proyecto ICAPTU en el 2011

Meses	Coliformes Fecales					
	10:00 AM			4:00 PM		
	ER01	ER02	PB01	ER01	ER02	PB01
Enero	88	62	70	102	71	46
Febrero	75	38	28	142	86	27
Marzo	92	44	36	114	104	85
Abril	118	58	52	96	125	82
Mayo	240	156	98	188	102	57
Junio	112	83	52	108	75	58
Julio	122	85	52	116	124	92
Agosto	-	-	-	-	-	-
Septiembre	132	204	95	171	123	93
Octubre	-	-	-	-	-	-
Noviembre	87	107	50	92	93	80
Diciembre	69	110	60	133	96	73

Anexo 4. Base de datos de los enterococos fecales en (UFC/100 ml) de los muestreos del proyecto ICAPTU en el 2011

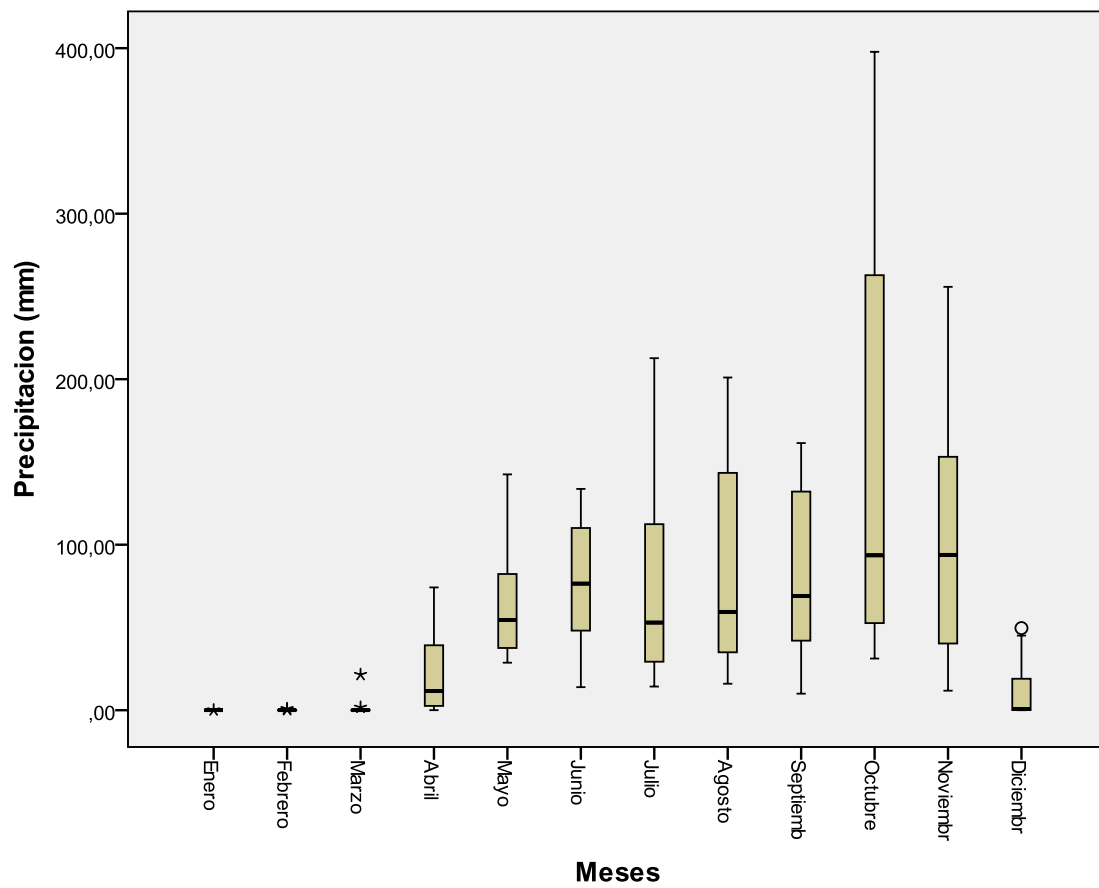
Meses	Enterococos Fecales					
	10:00 AM			4:00 PM		
	ER01	ER02	PB01	ER01	ER02	PB01
Enero	42	34	45	56	36	25
Febrero	12	14	10	29	27	12
Marzo	16	19	8	45	31	15
Abril	22	19	7	50	27	16
Mayo	112	66	52	96	45	39
Junio	57	47	23	51	42	22
Julio	85	45	27	51	54	36
Agosto	-	-	-	-	-	-
Septiembre	65	64	26	39	38	33
Octubre	-	-	-	-	-	-
Noviembre	48	86	20	27	41	20
Diciembre	40	89	35	61	38	23

12.2 Análisis de estadísticos

Anexo 5. Análisis estadísticos descriptivos Precipitación (mm)

Año	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
2002	0	0	0,1	9	94	133,7	18	63,8	67	101,23	11,8	0
2003	0	0	0	4,3	64,5	61,7	112,4	48,5	21,8	78,3	124,2	49,6
2004	0	0	0	18	142,5	13,93	49,2	143,4	138,6	52,63	96,4	0
2005	0	0	0	0,03	46,3	113,4	14,3	55,1	71	262,83	153,1	0,8
2006	0	0,03	0,1	2,6	41,4	36,9	54,83	26,8	56,9	40,3	28,5	0,1
2007	0	0,9	0	63,1	62,5	110,1	29,3	156,4	42,03	264,7	91,4	0,5
2008	0	0	0	0,9	28,7	56,8	51,1	201,03	132,1	96,1	84	0,7
2009	0,1	0	0,1	39,23	37,6	104,1	93,5	35	10	31,2	40,3	14
2010	0	0	21,5	74,2	35,8	48,1	212,7	118,4	161,4	91	255,8	45,1
2011	0	0,3	1,7	14,4	82,3	91,3	113,6	16	107,4	397,8	172,3	19
Media	0,01	0,12	2,35	22,58	63,56	77,00	74,89	86,44	80,82	141,61	105,78	12,98
Desv. Est.	0,03	0,29	6,75	27,01	34,90	38,93	60,42	63,59	51,67	122,98	74,06	19,34
Total	0,10	1,23	23,50	225,76	635,60	770,03	748,93	864,43	808,23	1416,09	1057,80	129,80
	Desv. Est	68,40										
	Varianza	4639,89										
	Media	55,68										

Anexo 6. Gráfico de caja y bigotes Precipitación (mm)



Anexo 7. ANOVA Simple para coliformes totales, usando Stapgraphic

Tabla ANOVA para Coliformes Totales por Punto de muestreo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	7,108E4	5	1,422E4	6,36	0,0001
Intra grupos	1,208E5	54	2237,		
Total (Corr.)	1,919E5	59			

Anexo 8. ANOVA Simple para coliformes fecales, usando Stapgraphic

Tabla ANOVA para Coliformes Fecales por Punto de muestreo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	32663,7	5	6532,74	5,19	0,0006
Intra grupos	67969,3	54	1258,69		
Total (Corr.)	100633,	59			

Anexo 9. Comparación de medianas para enterococos (prueba no paramétrica de KRUSKAL-WALLIS que no requiere de los supuestos)

Prueba de Kruskal-Wallis para Enterococos por Punto de muestreo

<i>Punto de muestreo</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
ER01 mañana	10	36,5
ER01 tarde	10	41,85
ER02 mañana	10	36,05
ER02 tarde	10	32,35
PB01 mañana	10	19,2
PB01 tarde	10	17,05

Estadístico = 16,6583 Valor-P = 0,00519566

Anexo 10. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes totales en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo ER01, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Coliformes totales mañana ER01 vs. Precipitación

Variable dependiente: Coliformes totales mañana ER01

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	188,818	28,8045	6,55517	0,0002
Pendiente	0,310173	0,344754	0,899693	0,3946

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	3225,91	1	3225,91	0,81	0,3946
Residuo	31882,6	8	3985,32		
Total (Corr.)	35108,5	9			

Coefficiente de Correlación = 0,303124

R-cuadrada = 9,1884 porciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -2,16305 porciento

Error estándar del est. = 63,1294

Error absoluto medio = 41,3303

Estadístico Durbin-Watson = 2,18133 (P=0,5331)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,115488

Anexo 11. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes totales en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo ER02, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Coliformes totales mañana ER02 vs. Precipitación

Variable dependiente: Coliformes totales mañana ER02

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	162,678	22,2643	7,30666	0,0001
Pendiente	0,443669	0,266477	1,66495	0,1345

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	6600,28	1	6600,28	2,77	0,1345
Residuo	19048,1	8	2381,02		
Total (Corr.)	25648,4	9			

Coefficiente de Correlación = 0,507284

R-cuadrada = 25,7337 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 16,4504 por ciento

Error estándar del est. = 48,7956

Error absoluto medio = 33,8746

Estadístico Durbin-Watson = 2,99683 (P=0,9469)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,517174

Anexo 12. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes totales en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo PB01, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Coliformes totales mañana PB01 vs. Precipitación

Variable dependiente: Coliformes totales mañana PB01

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	106,918	16,808	6,36115	0,0002
Pendiente	0,235463	0,201171	1,17046	0,2755

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1859,05	1	1859,05	1,37	0,2755
Residuo	10855,9	8	1356,98		
Total (Corr.)	12714,9	9			

Coefficiente de Correlación = 0,382374

R-cuadrada = 14,621 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 3,94863 por ciento

Error estándar del est. = 36,8372

Error absoluto medio = 28,4373

Estadístico Durbin-Watson = 2,51266 (P=0,7488)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,328588

Anexo 13. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes totales en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo ER01, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Coliformes totales tarde ER01 vs. Precipitación

Variable dependiente: Coliformes totales tarde ER01

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	185,761	18,002	10,319	0,0000
Pendiente	0,0786754	0,215461	0,365149	0,7245

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	207,55	1	207,55	0,13	0,7245
Residuo	12453,0	8	1556,62		
Total (Corr.)	12660,5	9			

Coefficiente de Correlación = 0,128037

R-cuadrada = 1,63935 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -10,6557 por ciento

Error estándar del est. = 39,454

Error absoluto medio = 28,4394

Estadístico Durbin-Watson = 2,66483 (P=0,8295)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,3499

Anexo 14. Análisis de regresión y correlación lineal simple con transformación log(x)-log(y) para coliformes totales en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo ER02, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - LOG(Coliformes totales tarde ER02) vs. LOG(Precipitación)

Variable dependiente: LOG(Coliformes totales tarde ER02)

Variable independiente: LOG(Precipitación)

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	5,19194	0,198461	26,161	0,0000
Pendiente	-0,00791861	0,0525989	-0,150547	0,8846

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0,00240626	1	0,00240626	0,02	0,8846
Residuo	0,743182	7	0,106169		
Total (Corr.)	0,745588	8			

Coefficiente de Correlación = -0,0568095

R-cuadrada = 0,322732 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -13,9169 por ciento

Error estándar del est. = 0,325836

Error absoluto medio = 0,270002

Estadístico Durbin-Watson = 1,67986 (P=0,1819)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0,0504901

Anexo 15. Análisis de regresión y correlación lineal simple con transformación log(y) para coliformes totales en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo PB01, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - log(Coliformes Totales PB01 tarde) vs. Precipitación

Variable dependiente: log(Coliformes Totales PB01 tarde)

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	4,66638	0,115159	40,5212	0,0000
Pendiente	0,001568	0,00137831	1,13763	0,2882

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0,0824399	1	0,0824399	1,29	0,2882
Residuo	0,5096	8	0,0636999		
Total (Corr.)	0,592039	9			

Coefficiente de Correlación = 0,373159

R-cuadrada = 13,9247 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 3,16532 por ciento

Error estándar del est. = 0,252388

Error absoluto medio = 0,140251

Estadístico Durbin-Watson = 2,09838 (P=0,4757)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,0638761

Anexo 16. Análisis de regresión y correlación lineal simple con transformación $\log(x)$ - $\log(y)$ para coliformes fecales en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo ER01, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - $\log(\text{Coliformes fecales mañana ER01})$ vs. $\log(\text{Precipitación})$

Variable dependiente: $\log(\text{Coliformes fecales mañana ER01})$

Variable independiente: $\log(\text{Precipitación})$

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	4,42679	0,211527	20,9278	0,0000
Pendiente	0,0828551	0,0560618	1,47793	0,1830

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0,263441	1	0,263441	2,18	0,1830
Residuo	0,844259	7	0,120608		
Total (Corr.)	1,1077	8			

Coefficiente de Correlación = 0,487675

R-cuadrada = 23,7827 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 12,8945 por ciento

Error estándar del est. = 0,347287

Error absoluto medio = 0,206868

Estadístico Durbin-Watson = 1,35574 (P=0,0725)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0,20916

Anexo 17. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes fecales en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo ER02, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Coliformes fecales mañana ER02 vs. Precipitación

Variable dependiente: Coliformes fecales mañana ER02

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	65,2557	20,7271	3,14832	0,0136
Pendiente	0,488864	0,248078	1,9706	0,0843

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	8013,45	1	8013,45	3,88	0,0843
Residuo	16508,7	8	2063,58		
Total (Corr.)	24522,1	9			

Coefficiente de Correlación = 0,571651

R-cuadrada = 32,6785 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 24,2633 por ciento

Error estándar del est. = 45,4267

Error absoluto medio = 34,4414

Estadístico Durbin-Watson = 2,93659 (P=0,9317)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,506691

Anexo 18. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes fecales en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo PB01, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Coliformes fecales mañana PB01 vs. Precipitación

Variable dependiente: Coliformes fecales mañana PB01

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	52,5098	10,4918	5,00484	0,0010
Pendiente	0,112738	0,125574	0,897786	0,3955

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	426,175	1	426,175	0,81	0,3955
Residuo	4229,93	8	528,741		
Total (Corr.)	4656,1	9			

Coefficiente de Correlación = 0,30254

R-cuadrada = 9,15305 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -2,20282 por ciento

Error estándar del est. = 22,9944

Error absoluto medio = 17,8865

Estadístico Durbin-Watson = 2,62856 (P=0,8117)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,353821

Anexo 19. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes fecales en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo ER01, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Coliformes fecales tarde ER01 vs. Precipitación

Variable dependiente: Coliformes fecales tarde ER01

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	124,65	15,5999	7,99043	0,0000
Pendiente	0,0257357	0,186712	0,137837	0,8938

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	22,2084	1	22,2084	0,02	0,8938
Residuo	9351,39	8	1168,92		
Total (Corr.)	9373,6	9			

Coefficiente de Correlación = 0,0486749

R-cuadrada = 0,236925 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -12,2335 por ciento

Error estándar del est. = 34,1895

Error absoluto medio = 26,0043

Estadístico Durbin-Watson = 3,09359 (P=0,9663)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,577531

Anexo 20. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes fecales en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo ER02, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Coliformes fecales tarde ER02 vs. Precipitación

Variable dependiente: Coliformes fecales tarde ER02

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	95,9133	9,30905	10,3032	0,0000
Pendiente	0,0661908	0,111418	0,594077	0,5689

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	146,906	1	146,906	0,35	0,5689
Residuo	3329,99	8	416,249		
Total (Corr.)	3476,9	9			

Coefficiente de Correlación = 0,205553

R-cuadrada = 4,2252 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -7,74666 por ciento

Error estándar del est. = 20,4022

Error absoluto medio = 15,4584

Estadístico Durbin-Watson = 1,82489 (P=0,2961)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,00584327

Anexo 21. Análisis de regresión y correlación lineal simple para coliformes fecales en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo PB01, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Coliformes fecales tarde PB01 vs. Precipitación

Variable dependiente: Coliformes fecales tarde PB01

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	59,9758	9,4347	6,35694	0,0002
Pendiente	0,15481	0,112922	1,37095	0,2076

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	803,606	1	803,606	1,88	0,2076
Residuo	3420,49	8	427,562		
Total (Corr.)	4224,1	9			

Coefficiente de Correlación = 0,436169

R-cuadrada = 19,0243 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 8,90235 por ciento

Error estándar del est. = 20,6776

Error absoluto medio = 17,0948

Estadístico Durbin-Watson = 1,96922 (P=0,3879)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,0280241

Anexo 22. Análisis de regresión y correlación lineal simple para enterococos en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo ER01, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Enterococos mañana ER01 vs. Precipitación

Variable dependiente: Enterococos mañana ER01

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	31,2514	12,1583	2,57037	0,0331
Pendiente	0,309624	0,14552	2,1277	0,0660

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	3214,49	1	3214,49	4,53	0,0660
Residuo	5680,41	8	710,051		
Total (Corr.)	8894,9	9			

Coefficiente de Correlación = 0,601154

R-cuadrada = 36,1386 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 28,1559 por ciento

Error estándar del est. = 26,6468

Error absoluto medio = 17,5903

Estadístico Durbin-Watson = 2,24017 (P=0,5737)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,130976

Anexo 23. Análisis de regresión y correlación lineal simple con transformación log(y)-raíz(x) para enterococos en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo ER02, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - LOG(Enterococos ER02 mañana) vs. SQRT(Precipitación)

Variable dependiente: LOG(Enterococos ER02 mañana)

Variable independiente: SQRT(Precipitación)

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	3,07721	0,26369	11,6698	0,0000
Pendiente	0,0992427	0,0339771	2,92086	0,0193

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	2,05023	1	2,05023	8,53	0,0193
Residuo	1,92251	8	0,240314		
Total (Corr.)	3,97274	9			

Coefficiente de Correlación = 0,718383

R-cuadrada = 51,6074 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 45,5583 por ciento

Error estándar del est. = 0,490218

Error absoluto medio = 0,353543

Estadístico Durbin-Watson = 1,38302 (P=0,0793)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0,00684024

Anexo 24. Análisis de regresión y correlación lineal simple para enterococos en las tomas de muestras de la mañana (10:00 am) en el punto de muestreo PB01, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Enterococos mañana PB01 vs. Precipitación

Variable dependiente: Enterococos mañana PB01

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	23,0918	7,31295	3,15766	0,0134
Pendiente	0,0366621	0,087527	0,418866	0,6863

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	45,0691	1	45,0691	0,18	0,6863
Residuo	2055,03	8	256,879		
Total (Corr.)	2100,1	9			

Coefficiente de Correlación = 0,146494

R-cuadrada = 2,14605 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -10,0857 por ciento

Error estándar del est. = 16,0274

Error absoluto medio = 11,8021

Estadístico Durbin-Watson = 2,14384 (P=0,5071)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,219283

Anexo 25. Análisis de regresión y correlación lineal simple para enterococos en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo ER01, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Enterococos tarde ER01 vs. Precipitación

Variable dependiente: Enterococos tarde ER01

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	52,7643	9,32457	5,65863	0,0005
Pendiente	-0,0375938	0,111604	-0,336851	0,7449

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	47,3889	1	47,3889	0,11	0,7449
Residuo	3341,11	8	417,639		
Total (Corr.)	3388,5	9			

Coefficiente de Correlación = -0,118259

R-cuadrada = 1,39852 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -10,9267 por ciento

Error estándar del est. = 20,4362

Error absoluto medio = 12,538

Estadístico Durbin-Watson = 1,91768 (P=0,3541)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0,0276076

Anexo 26. Análisis de regresión y correlación lineal simple para enterococos en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo ER02, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Enterococos tarde ER02 vs. Precipitación

Variable dependiente: Enterococos tarde ER02

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	32,2195	2,91553	11,051	0,0000
Pendiente	0,0943142	0,0348953	2,70278	0,0270

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	298,262	1	298,262	7,31	0,0270
Residuo	326,638	8	40,8298		
Total (Corr.)	624,9	9			

Coefficiente de Correlación = 0,690866

R-cuadrada = 47,7296 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 41,1957 por ciento

Error estándar del est. = 6,38982

Error absoluto medio = 5,00474

Estadístico Durbin-Watson = 2,29423 (P=0,6105)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,19334

Anexo 27. Análisis de regresión y correlación lineal simple para enterococos en las tomas de muestras de la tarde (4:00 pm) en el punto de muestreo PB01, incluyendo prueba de independencia en Stappgraphics.

Regresión Simple - Enterococos tarde PB01 vs. Precipitación

Variable dependiente: Enterococos tarde PB01

Variable independiente: Precipitación

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	19,6468	3,877	5,06751	0,0010
Pendiente	0,0739371	0,046403	1,59337	0,1497

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	183,303	1	183,303	2,54	0,1497
Residuo	577,597	8	72,1997		
Total (Corr.)	760,9	9			

Coefficiente de Correlación = 0,490818

R-cuadrada = 24,0902 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 14,6015 por ciento

Error estándar del est. = 8,49704

Error absoluto medio = 6,78725

Estadístico Durbin-Watson = 2,58759 (P=0,7905)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,321889

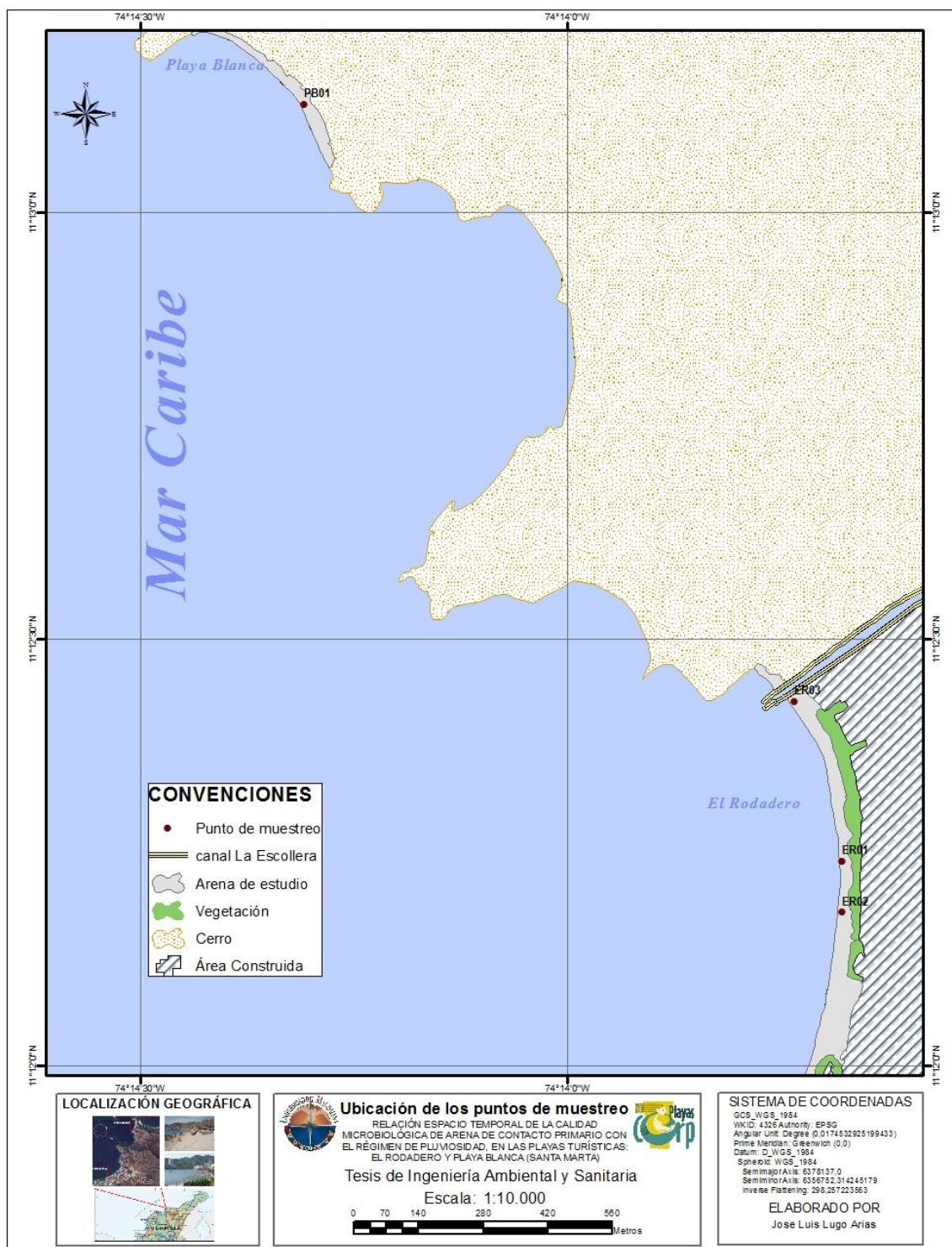
Anexo 28. Resumen de los análisis de regresión y correlación lineal de los parámetros microbiológicos con la precipitación mensual en el 2011

Parámetros microbiológicos	Punto de Muestreo	Toma de muestra	Parámetros Estadísticos							Transformación empleada
			Resultados regresión-correlación				P-valor de los Supuestos del modelo de regresión lineal			
			R	R²	Ecuación	P-valor	Shapiro-Wilk	Durbin-Watson	Prueba de Levene's	
Coliformes Totales	ER01	Mañana	0,3	9,19%	y=188,81+0,31x	0,3946	0,515	0,533	0,333	N/A
		Tarde	0,13	1,63%	y=185,76+0,078x	0,724	0,809	0,829	0,459	N/A
	ER02	Mañana	0,5	25,73%	y=162,67+0,44x	0,134	0,244	0,946	0,214	N/A
		Tarde	-0,06	0,32%	log(y)=5,19-0,0079log(x)	0,884	0,079	0,181	0,816	log(x)-log(y)
	PB01	Mañana	0,38	14,62%	y=106,91+0,23x	0,275	0,071	0,748	0,156	N/A
		Tarde	0,373	13,92%	log(y)=4,66+0,0015x	0,288	0,057	0,475	0,328	log(y)
Coliformes Fecales	ER01	Mañana	0,48	23,78%	log(y)=4,42+0,082log(x)	0,183	0,16	0,07	0,271	log(x)-log(y)
		Tarde	0,048	0,24%	y=124,65+0,02x	0,893	0,272	0,966	0,39	N/A
	ER02	Mañana	0,57	32,67%	y=65,25+0,49x	0,084	0,069	0,931	0,17	N/A
		Tarde	0,205	4,22%	y=95,91+0,06x	0,568	0,678	0,296	0,528	N/A
	PB01	Mañana	0,302	9,15%	y=52,51+0,112x	0,395	0,293	0,811	0,792	N/A
		Tarde	0,436	19,02%	y=59,97+0,15x	0,207	0,343	0,387	0,494	N/A
Enterococos	ER01	Mañana	0,6	36,14%	y=31,25+0,31x	0,066	0,493	0,573	0,539	N/A
		Tarde	-0,12	1,40%	y=52,76-0,037x	0,744	0,071	0,354	0,715	N/A
	ER02	Mañana	0,718	51,60%	log(y)=3,07+0,09raíz(x)	0,0193	0,346	0,079	0,961	log(y)-Raíz(x)
		Tarde	0,69	47,72%	y=32,22+0,094x	0,027	0,571	0,61	0,311	N/A
	PB01	Mañana	0,14	2,14%	y=23,09+0,036x	0,686	0,229	0,507	0,755	N/A
		Tarde	0,49	24,09%	y=19,64+0,073x	0,149	0,774	0,79	0,472	N/A

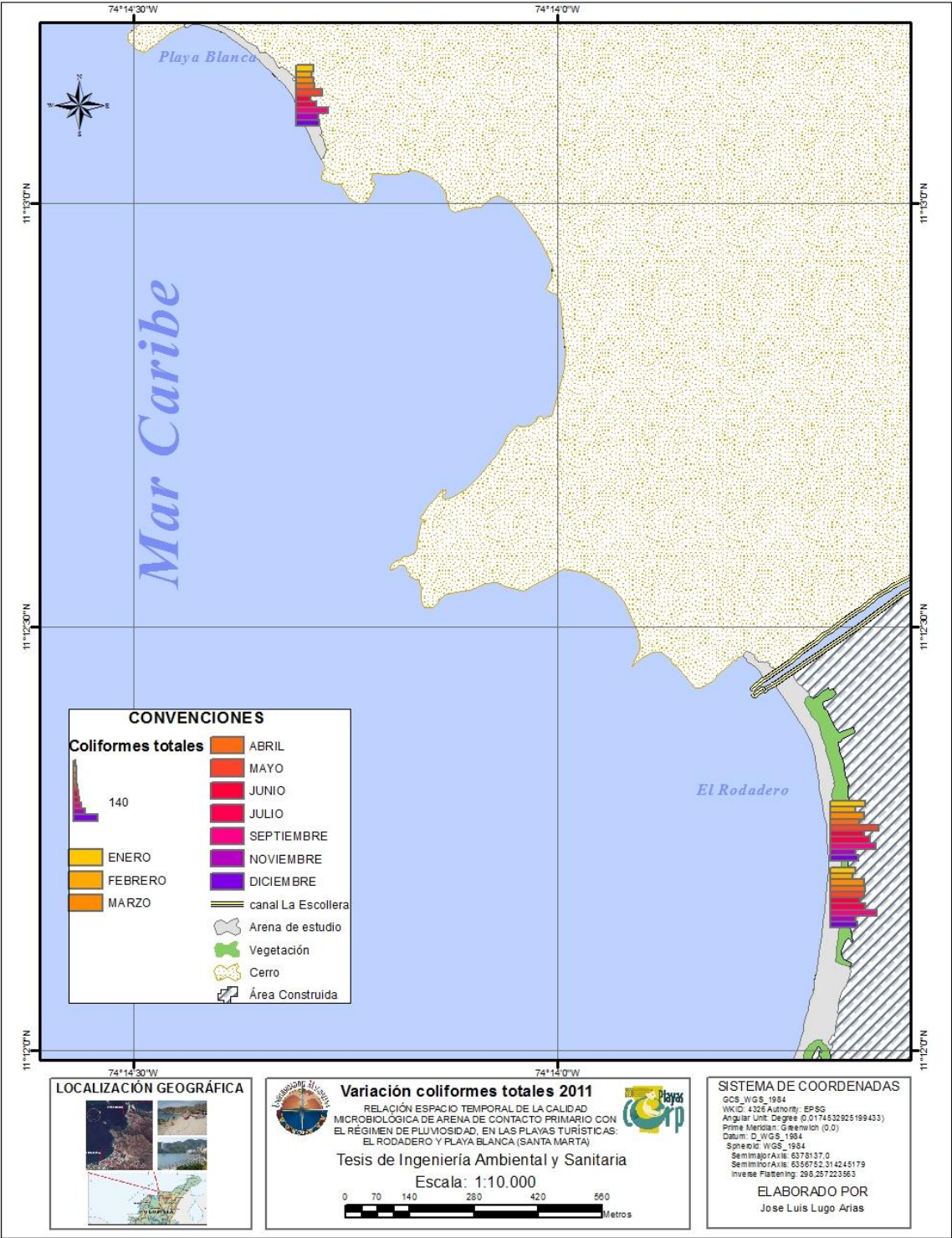
[N/A]: No se empleó transformación.

12.3 Mapas temáticos en Sistema de Información Geográfica

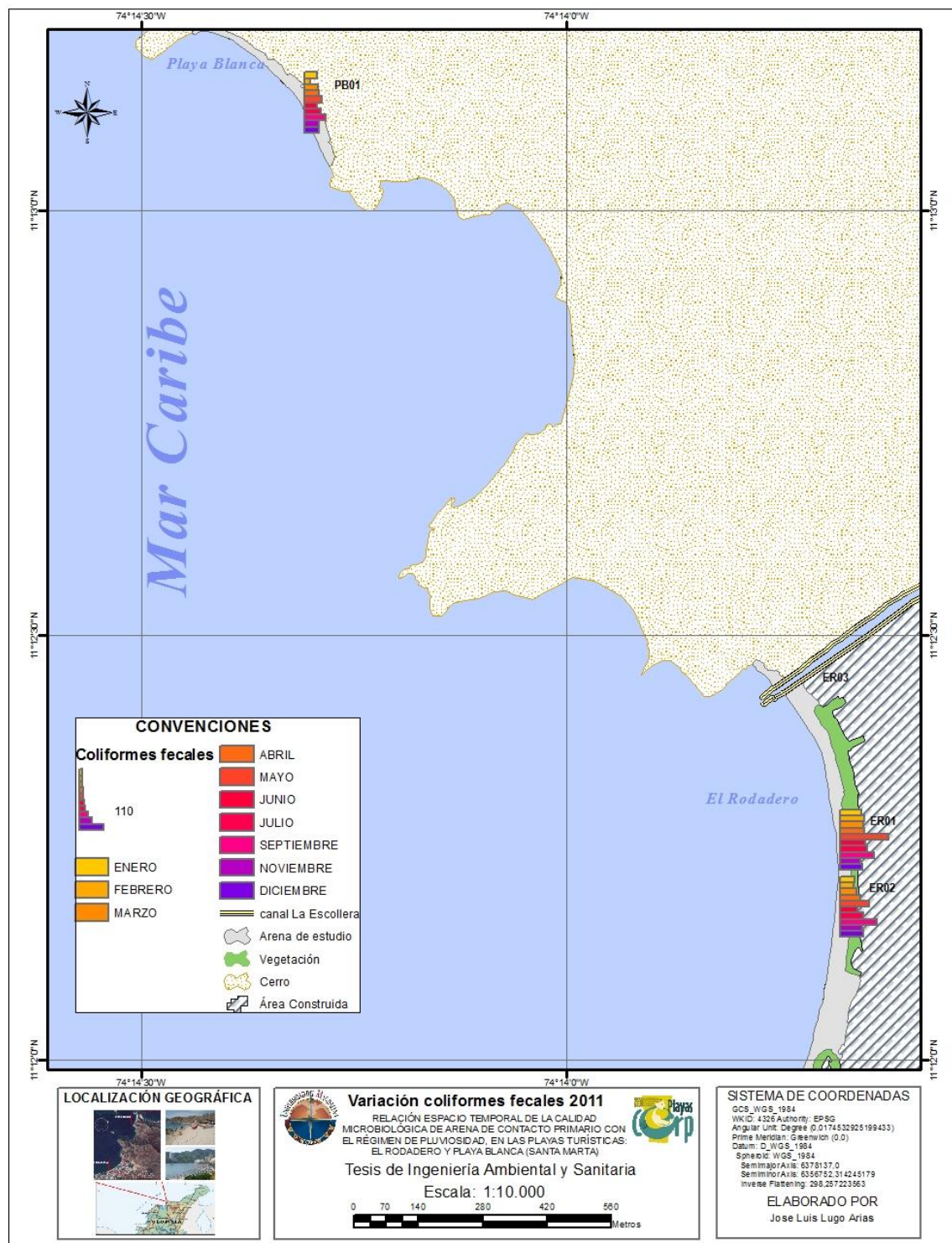
Anexo 29. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo



Anexo 30. Variación de los coliformes totales en la arena de los monitoreos del 2011.



Anexo 31. Variación de los coliformes fecales en la arena de los monitoreos del 2011.



Anexo 32. Variación de los enterococos fecales en la arena de los monitoreos del 2011.

