

1. Identificación del proyecto:

1.1. Código del proyecto: C.I. 2617. Cuantía \$ 15'000.000
1.2. Nombre del proyecto: MODELACION ESTADISTICA DE VARIABLES CLIMATICAS EN EL SUROCCIDENTE COLOMBIANO
1.3. Nombre del investigador principal: MERCEDES ANDRADE BEJARANO
1.4. Nombre de los coinvestigadores: GABRIEL CONDE ARANGO, KARIN JULIETH CASTAÑEDA TIQUE, LINA MARCELA CASTRO CANO, NINI JOHANA CRUZ, EFRAIN DELGADO, ALVARO FLOREZ POVEDA, CLAUDIA ALEJANDRA LAVERDE GARCIA, VICTOR HUGO MALEZ, CAROLY NATHALY MEDINA PACHECO, JOHN JAIRO MILLAN HERNANDEZ, MAURICIO MERA, GREISY RAMIREZ QUIÑONEZ, MARIA LORENA RIVAS ORDOÑEZ, RUBEN ALEXIS PORTILLO ROSERO, DIANA KATERINE ZAPE, EDISON ANDRES ZULUAGA DUQUE
1.5. Fecha de presentación del informe: MAYO 31 DE 2012
Fecha de inicio: NOVIEMBRE 24 DE 2012
Fecha de terminación: MAYO 30 DE 2012

1. Resumen:

Este proyecto de investigación está enmarcado dentro del objetivo general del grupo INFERIR, sobre modelación de variables climáticas dentro de su línea de investigación en Estadística Ambiental, y tiene como meta el desarrollo de modelos estadísticos para la predicción de variables climáticas como la temperatura y la precipitación, en sitios del Valle del Cauca donde no han sido medidas, con el fin de generar información para la planeación y la toma de decisiones de agricultores, centros de investigación agrícola y corporaciones autónomas regionales encargadas de conservar los recursos naturales e hídricos. Para cumplir con el objetivo general el proyecto se dividió en siete objetivos específicos que se convirtieron en sub proyectos: 1) Modelo Lineal Mixto Generalizado para la modelación de la temperatura promedio en el Valle del Cauca 2) y 3) Modelación de la temperatura máxima y la temperatura mínima mensual en el Valle del Cauca, a través de la Teoría de Valores Extremos y del Modelo Lineal Mixto 4) Distribución espacial y temporal de la precipitación en el Valle del Cauca 5) Modelos Mixtos Lineales Generalizados para la modelación de la precipitación mensual en el Valle del Cauca 6) Modelación de la precipitación diaria en el Valle del Cauca a través del Modelo Lineal Mixto Generalizado 7) Aplicación de la Suavización Spline en la modelación de la temperatura promedio mensual en el Valle del Cauca usando Ponderación por Diagramas de Voronoi. De igual manera, en el marco de esta investigación se concluyó la investigación titulada Modelación de la Temperatura Promedio Mensual a través de Modelos Lineales Mixtos.

Los subproyectos 1) 5) y 6) y la Modelación de la temperatura promedio mensual a través de modelos lineales mixtos fueron realizados a través de la metodología de los modelos lineales mixtos (MLM), modelos lineales mixtos generalizados (MLMG), que involucraron la identificación

de la distribución de la variable de respuesta y de la función de enlace para el ajuste de los modelos. En todos estos subproyectos se evaluó la correlación espacial y temporal de los errores y se modeló en caso de existir. Los subproyectos 2) y 3) fueron modelados a través de la Teoría de Valores Extremos, que permitió determinar los periodos y niveles de retorno. En el subproyecto 4) se identificó la correlación espacial y temporal de los errores a través del uso de variogramas y funciones de autocorrelación, en el caso temporal. La correlación espacial fue modelada a través de Modelos MLMG y modelos de covarianza isotrópicos. El subproyecto 7) se llevó a cabo a través del uso de Splines y la construcción de Diagramas de Voronoi para determinar el área de influencia de cada estación. Los resultados muestran que en los subproyectos 1) 5) 6) y la modelación de la temperatura promedio mensual, la influencia de los fenómenos del Niño y la Niña es significativa, de igual manera, existe la influencia de la altitud, la alta variabilidad debida a las estaciones meteorológicas (sitios) y a los años en que se recolectó la información. Los mapas obtenidos para la temperatura promedio mensual muestran las condiciones climáticas de la zona, debida a los periodos secos y húmedos y caracterizan los cambios en dicha variable debidos a los fenómenos del Niño y la Niña. El modelo Matern fue el mejor modelo de covarianza para modelar la correlación espacial de los errores de las variables precipitación mensual y diaria. La Suavización Spline proporcionó muy buenos resultados para la modelación de la temperatura promedio mensual.

2. Informe de resultados:

2.1 Resultados a Nivel Descriptivo

Los subproyectos 1) a 7) y la Modelación de la temperatura promedio mensual a través de modelos lineales mixtos presentan a nivel descriptivo, los siguientes resultados:

- 1) La temperatura promedio mensual, la temperatura máxima mensual y la temperatura mínima mensual presentan una distribución bimodal dada por su comportamiento en las dos posiciones geográficas (valle y montaña). En el valle la temperatura muestra con respecto a la altitud un comportamiento constante, mientras que en la montaña disminuye a medida que aumenta la altitud (en metros sobre el nivel del mar).
- 2) La temperatura promedio, máxima y mínima mensual presentan un comportamiento estacional dado por los dos periodos secos (Enero-Febrero, Julio-Agosto) y los dos periodos húmedos (Abril-Mayo, Octubre-Noviembre). Este resultado había sido reportado previamente por Pabón *et al.* (2002).
- 3) Al realizar este análisis descriptivo se encontró variación en los valores de temperatura máxima mensual para los meses correspondientes a periodos secos (Enero-Febrero, Julio-Agosto) y se observó que en algunos meses correspondiente a periodos húmedos (Abril-Mayo, Octubre-Noviembre) se registraron valores altos de esta variable, lo que evidencia los cambios bruscos que ha sufrido el clima en la región debido a diferentes factores como los fenómenos climáticos del Niño y la Niña.
- 4) Las series de tiempo de temperatura promedio mensual, máxima mensual y mínima mensual presentaron diversos comportamientos para cada estación meteorológica; en algunos casos las series tienen tendencia a crecer, y en otros casos a permanecer constante a través del tiempo.
- 5) En general, durante el fenómeno del Niño la temperatura promedio, máxima y mínima aumentan en comparación con las condiciones normales. Durante el fenómeno de la

- Niña la temperatura disminuye, en relación con las condiciones normales.
- 6) Se determinó que la temperatura promedio mensual sigue una distribución Gamma.
 - 7) Al graficar las series de tiempo de precipitación mensual de la región del valle y la montaña, se encontró un comportamiento similar, es decir, los valores de precipitación mensual en el valle no distan de los registrados en la región de montaña.
 - 8) Las series de tiempo por mes para la precipitación mensual de las estaciones climáticas, no presentan tendencias, pero varían de una estación a otra.
 - 9) La precipitación mensual y la precipitación diaria presenta un comportamiento estacional dados por dos períodos secos (Enero-Febrero, Julio-Agosto) y dos períodos húmedos (Abril-Mayo, Octubre-Noviembre). Este resultado había sido reportado por Pabón et al (2002).
 - 10) No existe una relación lineal entre la altitud y las variables precipitación mensual y precipitación diaria, ya que los coeficientes de correlación revelan valores muy bajos de correlación. Lo que si se muestra, es que la relación que tienen tanto la precipitación mensual como la precipitación diaria con la altitud puede estar representada por una función cuadrática. Este resultado es acorde con lo indicado por Pabón (2002), quien dice que en la mayoría de los sitios de Colombia la precipitación se comporta siguiendo un patrón muy definido, aunque con diferencias condicionadas por aspectos topográficos, donde se alcanza un máximo pluviométrico, generalmente a una altura determinada entre los 1.000 a 1.500 m.s.n.m, y luego disminuye paulatinamente, hasta un lugar ubicado cerca de los 2.000 a 2.500 msnm.
 - 11) El Fenómeno Cálido del Pacífico (El Niño), se manifiesta con un déficit de la precipitación diaria y de la precipitación mensual, durante el transcurso del evento, ocasionando reducción en la precipitación en la zona de estudio, mientras que el fenómeno Frío del Pacífico (La Niña) se manifiesta con un aumento considerable en la precipitación.
 - 12) Se identificó la distribución Gamma como la distribución a la que mejor se ajusta la precipitación mensual y la precipitación diaria.

2.2 Resultados de la Formulación y Ajuste de Modelos por cada Subproyecto

SUBPROYECTO 1: Modelo Lineal Mixto Generalizado para la modelación de la temperatura promedio en el Valle del Cauca

En este subproyecto se modeló la variable atmosférica temperatura promedio mensual, correspondiente a datos recolectados durante el periodo 1971 a 2002 en las 27 estaciones meteorológicas ubicadas en el Valle del Cauca. Localizadas dentro de latitudes de 3°19'N a 4°44'N y longitudes de 75°49'O a 76°45'O, y altitudes de 920 a 1950 m.s.n.m. Los resultados más relevantes fueron:

- 1) Dando continuidad al trabajo desarrollado por (Andrade Bejarano, 2009), se determinó que la temperatura promedio mensual tanto para la Región Valle como para la Región Montaña sigue una distribución Gamma, cuyos parámetros α y β fueron estimados por el método de Quasi-Verosimilitud Penalizada. De igual manera, se determinó la función de enlace identidad para la modelación mediante el Modelo Lineal Generalizado Mixto.
- 2) Como una de las principales características se destaca la relación inversa entre

temperatura y altitud, es decir, a mayor altitud, menor temperatura, lo que se conoce como gradiente vertical de temperatura. En los resultados de modelación se observa que las estaciones donde se tomaron las mediciones ubicadas en la región de Montaña la altitud es significativa (todos los valores p menores a 0.01 %), además que los parámetros de regresión confirman en cada uno de los meses, una disminución de la temperatura media a medida que el nivel de altitud aumenta.

- 3) Para las estaciones de la región del Valle, la altitud no es significativa excepto en el mes de Marzo, esto, debido a que el nivel de altitud no genera cambios en la temperatura, dado que no existe cambios en la altitud (Pabón, et al, 2008), además es de destacar que la mayor diferencia observada entre dos estaciones meteorológicas en esta región es de 180 metros sobre el nivel del mar, mientras en la región de Montaña dicha diferencia máxima es de 717 metros sobre el nivel del mar, lo cual representa una diferencia hasta 4 veces más grande en la Montaña frente al Valle.
- 4) En el caso del tiempo y bajo un nivel de significancia del 5%, solo existe evidencia en Agosto, Noviembre y Diciembre para la Montaña de su aporte en el incremento de la temperatura, de hecho, las estimaciones de los parámetros de regresión son positivos por cada valor del tiempo que aumente. En la región del Valle, los meses Agosto y Octubre son significativos en el cambio de la temperatura con respecto al aumento del tiempo.
- 5) El Índice de Oscilación Sur por su característica de medición muestra que valores menores a cero producen un aumento en la temperatura promedio mensual (estimación de parámetros de regresión negativos) y a valores positivos, un decrecimiento en la temperatura, lo cual está asociado con los fenómenos de El Niño y La Niña. Para la región de Montaña los meses Mayo y Junio no mostraron suficiente evidencia para confirmar un efecto significativo del IOS. Nótese que el Índice de Oscilación Sur no es significativo aun cuando en los datos para el mes de Mayo se registra un IOS menor a cero (presencia El Niño), indicando incremento en la temperatura y dicho incremento en la temperatura observada no se da, puesto que en Mayo las temperaturas son generalmente más bajas.
- 6) En la región del Valle se observa que el IOS no es significativo en los meses Mayo y Noviembre (periodos registrados como húmedos), debido a las mismas razones mencionadas para la región de Montaña. Finalmente, se encuentra que el IOS no es significativo en los casos en que anuncia presencia del fenómeno El Niño cuando se observan temperaturas realmente bajas con respecto a los demás periodos del año, es decir, se esperan comportamientos contrarios a los observados.
- 7) En el caso de los efectos aleatorios, el efecto del tiempo sobre la temperatura media genera la más alta variabilidad en los meses Enero y Febrero de la región de Montaña, de la misma manera en la región del Valle, los meses Enero, Febrero y Septiembre. En el caso de las estaciones, en todos los meses para las dos regiones su presencia genera alta variabilidad en el comportamiento de la temperatura promedio mensual.
- 8) En cuanto a la correlación espacial de los errores de los modelos lineales mixtos generalizados ajustados en el proyecto, se identificó a partir de los variogramas espaciales ponderados, que tanto para la Región del Valle como para la Región de la Montaña los variogramas muestran que no existe correlación espacial de los errores.
- 9) Por otra parte, con el análisis de correlación temporal de los errores de los modelos lineales mixtos generalizados ajustados, se observó de manera casi general una tendencia creciente de la variabilidad de los residuales de acuerdo al incremento de los

rezagos, solo con las excepciones de los meses Enero, Febrero, Mayo y Agosto de la Región de Montaña, adicionalmente, en los casos de estaciones con completitud de información, las funciones de autocorrelación simples y parciales sugieren una estructura de los errores del modelo AR (1). Lo anterior, permitió incluir en el Modelo Lineal Mixto Generalizado una estructura de covarianza AR (1).

- 10)** Finalmente, al incluir en el modelo la estructura de covarianza AR(1), ambas regiones analizadas aumentaron el número de meses donde los efectos de la altitud y el tiempo no eran significativos en el modelo con errores independientes (sin incluir componente de correlación). Así también, se mantuvo las características y los resultados que en un principio se encontraron para el modelo convencional, solo que en este modelo en el cual se agregó la componente de autocorrelación, los errores estándar de los parámetros de regresión disminuyeron, algunos ligeramente (componentes de varianza en la región de Montaña) otros de impacto significativo (componentes de varianza en la región del Valle y parámetros de regresión en ambas zonas).

SUBPROYECTOS 2 Y 3: Modelación de la Temperatura Máxima Mensual y Temperatura Mínima Mensual en el Valle del Cauca, a través de la Teoría de Valores Extremos y el Modelo Lineal Mixto

Inicialmente se exploró el trabajar con Modelos Lineales Mixtos Generalizados y luego con la Teoría de Valores Extremos, pero finalmente se determinó que por la naturaleza de las variables temperatura máxima y temperatura mínima, en las que su distribución está alejada del grueso de la distribución (media, mediana) y que los datos de estas variables pertenecen a la cola de la distribución, debía trabajarse con la Teoría de Valores Extremos.

SUBPROYECTO 2: Modelación de la Temperatura Mínima Mensual a través de la Teoría de Valores Extremos

Para la modelación de la Temperatura Mínima Mensual se utilizaron los datos suministrados por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), que corresponde a 2 estaciones meteorológicas ubicadas una en el Valle y otra en la Montaña. Una de estas estaciones se conoce como Miravalles (coordenadas 4°31'N, 75°55'O) localizada a 1233 m.s.n.m y La Buitrera (coordenadas 3°34'N, 76°32'O) que se encuentra localizada a 1500 m.s.n.m. Los datos corresponden a datos mensuales de temperatura mínima del periodo 1971 a 2009.

A continuación se relacionan los principales resultados de la formulación y ajuste de modelos con la Teoría de Valores Extremos:

- 1) Debido a que el valor estimado del parámetro de forma de la función de distribución generalizada para los mínimos es $\xi = -0,348 < 0$, se concluye que los datos de la estación meteorológica Miravalle siguen una distribución Weibull.
- 2) Para la estación meteorológica Miravalle, se espera con un nivel de confianza del 95%, que en cinco años se presente una temperatura mínima entre 15.47 y 15.78 °C y en 100

- años la temperatura fluctúe entre 16.54 y 16.90 °C.
- 3) Para la estación meteorológica La Buitrera $\xi = -0.38135 < 0$, lo que indica que los datos también siguen una distribución Weibull.
 - 4) Para la estación meteorológica La Buitrera, se espera con un nivel de confianza del 95%, que en cinco años se presente una temperatura mínima entre 15.09 y 15.47 °C y en 100 años la temperatura fluctúe entre 16.45 y 16.81 °C.
 - 5) Observando las gráficas de los niveles de retorno y parámetros de forma, se nota que en cada caso existe una clara asimetría, lo que se espera cuando se trabaja con datos extremos. Además a medida que aumenta los años, el nivel de cambio de la temperatura mínima para las estaciones del Valle del Cauca aumenta gradualmente durante periodos de retornos más largos.
 - 6) La utilización de la Teoría de Valores Extremos en esta investigación, permitió conocer el comportamiento de la temperatura mínima mensual en el Valle del Cauca, por lo cual se logró cumplir con el objetivo general planteado y determinar a futuro que el clima en esta región del país, se incrementará al pasar los años.

SUBPROYECTO 3: Modelación de la Temperatura Máxima Mensual a través de la Teoría de Valores Extremos

En este subproyecto se trabajo con los datos de las estaciones meteorológicas CIAT Quilichao ubicada en el Valle a una altitud de 990 m.s.n.m (con coordenadas 3°03'N, 76°30'O) y la estación San Emigdio localizada en la Montaña a una altitud de 1272 m.s.n.m, con coordenadas 3°33'N, 76°12'O. Los datos corresponden a valores mensuales de temperatura máxima del periodo 1971 a 2009 y fueron suministrados por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). A continuación se relación los principales resultados de la formulación y ajuste de modelos de la Teoría de Valores Extremos:

- 1) El valor del parámetro de forma $\xi = -0.06730 < 0$, lo que indica que la distribución limite tiende a una distribución Weibull. Es decir, los datos de la estación meteorológica CIAT Quilichao siguen una distribución Weibull.
- 2) Para la estación CIAT Quilichao se espera con un nivel de confianza del 95%, que en cinco años se presente una temperatura máxima entre 34.12 y 34.81 °C y en 100 años la temperatura fluctúe entre 36.99 y 39.42 °C.
- 3) Para la estación meteorológica San Emigdio $\xi = -0.2035 < 0$ lo que indica que los datos también siguen una distribución Weibull, y se espera con un nivel de confianza del 95%, que en cinco años se presente una temperatura máxima entre 31.59 y 32.30 °C y en 100 años la temperatura fluctúe entre 34.41 y 35.79 °C.
- 4) Los resultados muestran que se están presentando temperaturas máximas mensuales más extremas lo cual puede perjudicar a sectores como el de la agricultura, en el departamento del Valle del Cauca.
- 5) Con la información disponible se infiere, que las temperaturas máximas mensuales en el departamento del Valle del Cauca, son independientes y se ajustan bien a la distribución Weibull. Se estimaron algunos niveles y períodos de retorno tratando con ello de contribuir a la medición de riesgos climatológicos.

SUBPROYECTO 4: Distribución Espacial y Temporal de la Precipitación en el Valle del Cauca

Este subproyecto inicialmente se planteó para determinar la distribución espacial de la precipitación a través de métodos Geoestadísticos, pero se amplió para adicionalmente determinar la distribución temporal de la precipitación en el Valle del Cauca. Los métodos estadísticos utilizados fueron la Geoestadística, Series Temporales y el Modelo Lineal Generalizado Mixto, debido a que la variable precipitación no se distribuye normal.

La población objeto de estudio la conforma los datos que corresponden a los resúmenes mensuales multianuales de la precipitación mensual de 154 estaciones meteorológicas situadas en latitudes entre 3°09'N a 4°56'N, en longitudes de 75°02'O a 77°03'O y en altitudes de 850 a 2100 m.s.n.m., del departamento del Valle del Cauca, Colombia. Los Datos fueron suministrados por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y el IDEAM (Instituto Nacional de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) y fueron recolectados durante el periodo 1971 a 2009. A continuación se relacionan los principales resultados de la exploración de la correlación espacial y temporal de la precipitación mensual y su modelación.

- 1) El análisis de cada serie de precipitación mensual por estación meteorológica, para cada mes a través de los años, muestra que no existe un patrón de comportamiento definido de variabilidad temporal, además los gráficos de semivariogramas y los correlogramas para estaciones que contiene todos los registros en el tiempo estudiado, determinan que la serie precipitación mensual en el Valle del Cauca no esta autocorrelacionada, es decir no presenta dependencia alguna a lo largo del tiempo.
- 2) De acuerdo con los semivariogramas empíricos y teóricos, en la estimaciones de los parámetros como lo es el rango, se identifica que la dependencia espacial es representativa hasta el valor de la estimación del rango, es decir la información comprendida en este estudio refleja que la precipitación mensual en el Valle del Cauca presenta una dependencia espacial entre las estaciones que se encuentra a distancias entre 0 y 14 kilómetros en promedio, aproximadamente, en otras palabras en la mayor parte de los municipios de la región la lluvia es continua a 14 kilómetros o menos, aproximadamente.
- 3) La metodología del modelo lineal mixto generalizado permitió ajustar un modelo que representa la estructura de variabilidad espacial por medio de los residuales. El modelo que mejor representa la estructura de variabilidad espacial de la precipitación mensual es la función de covarianza Matern. Al comparar uno a uno cada modelo en los 39 años de estudio y haciendo uso de los criterios de información, se concluyó que el modelo Matern presentó un mejor ajuste con respecto al modelo Exponencial.
- 4) Se observó que las concentraciones de precipitación mensual para las estaciones meteorológicas, aumentan desde el Nordeste hacia la dirección Suroeste de la región del Valle del Cauca. La precipitación se comporta siguiendo un patrón con diferencias condicionadas por aspectos topográficos principalmente la altura, encontrándose que en la dirección norte-sur de la región se presenta alturas mayores y en la dirección este-oeste se presenta alturas menores.

SUBPROYECTO 5: Modelos Mixtos Lineales Generalizados para la Modelación de la Precipitación Mensual en el Valle del Cauca

Los datos de este subproyecto corresponden a registros mensuales de 155 estaciones pluviométricas para el Valle del Cauca, de las cuales 67 están ubicadas en áreas planas y 88 en áreas de montaña, las cuales están localizadas a una latitud de 3°19'N a 4°44'N, longitudes entre 76°41'N y 76°43'O, y con altitudes que varían entre los 850 a 1233 m.s.n.m. para el valle geográfico, y altitudes de montaña que van desde los 1233 a 2100 m.s.n.m. Los datos fueron suministrados por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y corresponden al periodo 1971 a 2009. A continuación se presentan los principales resultados:

- 1) Las ideas generadas a partir del comportamiento de la precipitación en el análisis descriptivo de los datos, son estudiados con mayor rigurosidad a través de la formulación e implementación de un Modelo Lineal Mixto Generalizado. Cuando se supone independencia en los errores de los modelos ajustados a nivel mensual, la variable ISO (Índice de Oscilación Sur), que mide la influencia de los fenómenos climáticos del Niño y la Niña es la única que presenta un aporte significativo en la modelación de la precipitación, con excepción de los meses abril, mayo, junio y septiembre.
- 2) Al evaluar las componentes aleatorias de los modelos ajustados, se encontró que los coeficientes aleatorios (estación, estación x año centrado y el año) presentan alta variabilidad en los meses; sin embargo, meses como enero y febrero, siendo meses secos presentan el mismo comportamiento que los meses lluviosos, esto implica que existe una gran variación en los datos según mes, año y estación. Las componentes aleatorias, se destacan en la implementación de los modelos, ya que presentan un aporte significativo en la modelación de la variabilidad de la precipitación mensual en el Valle del Cauca.
- 3) Se comprueba el resultado obtenido en el Subproyecto 4), en el cual no se encontró correlación temporal en los errores.
- 4) Se presenta correlación espacial de los errores, la cual fue modelada a partir del modelo de covarianza Matern. Al modelar la correlación espacial de los errores se evidencia que hay un aporte significativo en los modelos de la estimación de los parámetros de la variable altura y su componente cuadrática, esto se genera ya que la altitud es una variable que se maneja dentro de un contexto espacial. Las estimaciones de los componentes de varianza (debidos a la estación meteorológica, estación x año y año) son pequeños en comparación al modelo con errores independientes (en el que no se asumió correlación espacial).

SUBPROYECTO 6: Modelación de la Precipitación Diaria en el Valle del Cauca a través del Modelo Lineal Mixto Generalizado

Este subproyecto no se planteó inicialmente en la propuesta de investigación, pero debido a la importancia de modelar la precipitación a nivel diario, se formuló y se llevó a cabo en el marco de este proyecto esta investigación.

Los datos de este estudio corresponden a la precipitación diaria y los registros a 51

estaciones meteorológicas (sitios), localizadas en el Valle del Cauca en latitudes de 3°19'N a 4°44'N, longitudes de 75°49'O a 76°45'O y altitudes entre 800 y 2000 m.s.n.m. Colectados en el periodo 1971- 2009. Los resultados más importantes fueron los siguientes:

- 1) Los resultados de los ajuste del Modelo Lineal Mixto Generalizado suponiendo independencia de los errores, mostraron que el fenómeno temporal ISO presenta un aporte significativo en la modelación de la precipitación diaria en el Valle del Cauca, con excepción de los meses abril, mayo, septiembre y octubre. Para la componente espacial, se encontró que la estimación del parámetro de la altura es significativo para los meses febrero, abril, octubre, noviembre y diciembre, por otro lado, las estimaciones del parámetro de la altura al cuadrado sólo es significativo para los meses febrero, abril y diciembre.
- 2) Las componentes de varianza de la estación y año muestran valores altos de estimación en los meses como abril, octubre y noviembre, indicando que existe una gran variación en los datos según mes, estaciones meteorológicas y año. La inclusión en los modelos de estos efectos aleatorios es de vital importancia en la predicción de la precipitación diaria en el Valle del Cauca.
- 3) La correlación espacial de los errores del modelo entre las estaciones, analizada por medio de los semivariogramas y la cual fue modelada a través del modelo Matern, refleja cambios significativos en la estimación de los parámetros de la variable altura y su componente cuadrática en el modelo, demostrando que la correlación espacial es importante a la hora de modelar la precipitación diaria en el Valle del Cauca, además este aporte significativo, es debido a que la altura es una variable que influye en la precipitación en el contexto espacial. Por otro lado, las estimaciones de los componentes de varianza debidas a la estación, estación x año centrado, año son más pequeñas comparadas con los modelos que asumieron independencia en los errores.
- 4) Esta investigación demuestra que la precipitación es afectada por varios componentes geográficos, temporales (año, ISO) y espaciales (estación, Altitud), lo cual abre las puertas a mejorar las estrategias estadísticas y de profundización en el estudio de la precipitación. Estos resultados son una fuente para otros investigadores a la hora de estudiar la precipitación diaria.

SUBPROYECTO 7) Aplicación de la Suavización Spine en la Modelación de la Temperatura Promedio Mensual en el Valle del Cauca usando Ponderación por Diagramas de Voronoi

Al igual que en el Subproyecto 6) esta investigación no fue planteada inicialmente en la propuesta de investigación, pero se vio la importancia de modelar la temperatura promedio mensual a través de métodos no paramétricos y por esta razón, se planteó posteriormente este subproyecto en el marco de esta investigación.

Los datos de este subproyecto, corresponden a los datos de temperatura promedio mensual de las 27 estaciones meteorológicas ubicadas en el Valle del Cauca y que fueron modelados en el subproyecto 1) a través de Modelos Lineales Generalizados Mixtos. El modelar la variable temperatura promedio mensual a través de métodos no paramétricos se convirtió en una alternativa de solución al problema de que los errores de los modelos obtenidos por Andrade

Bejarano (2009) no tienen una distribución normal.

Los principales resultados obtenidos fueron:

- 1) Los Diagramas de Voronoi son una alternativa muy eficiente y práctica como método de interpolación, puesto que ayudó a determinar el área de influencia de cada estación meteorológica y fue fundamental como elemento ponderador en la estimación de los Splines para disminuir el efecto del muestreo irregular.
- 2) Los resultados obtenidos invitan a pensar que la estimación de la curva típica ponderada por diagramas de Voronoi es una metodología útil y eficiente para la modelación de la temperatura promedio mensual en el Valle del Cauca, para el periodo 1971-2002. Además mostró que el comportamiento de la temperatura promedio en el Valle del Cauca varía entre los pisos térmicos cálido y templado, formando dos estratos por lo que fue necesario evaluarlo y modelarlo por separado.
- 3) Aunque la Suavización Spline proporcionó buenos resultados para la modelación de la temperatura promedio mensual, esta se podría mejorar con la inclusión en el modelo de variables que están altamente correlacionadas con la temperatura como es el Índice de Oscilación Sur (IOS).

Modelación de la Temperatura Promedio Mensual a través de Modelos Lineales Mixtos

Como se indicó en el resumen, en el marco de este proyecto se concluyó la investigación “Modelación de la Temperatura Promedio Mensual a través de Modelos Lineales Mixtos”. En este subproyecto se elaboraron mapas con los valores predichos obtenidos a través de los modelos ajustados. Los principales resultados y conclusiones obtenidas son los siguientes:

- 1) Se ajustaron cuatro modelos en el contexto del Modelo Lineal Mixto, el cual no ha sido usado para modelar la temperatura promedio mensual. Algunos acercamientos a la modelación de la temperatura promedio mensual son: 1) Regresión y métodos de interpolación y 2) Análisis Canónico y Redes Neuronales
- 2) En los cuatro modelos se incluyeron los mismos parámetros de covarianza, la diferencia entre los modelos se debe a la parte fija (variables regresoras).
- 3) La tendencia de algunas series de tiempo se modela bien a través de la inclusión del efecto de la estación meteorológica (sitio), el cual provee un término de intercepto y por cada sitio la interacción sitio x tiempo, lo cual genera la pendiente aleatoria.
- 4) El efecto debido al año, muestra variabilidad en los valores estimados entre los meses. Los valores para el período más seco (Enero-Febrero) son más grandes que para el período más húmedo (Octubre-Noviembre). Esto se debe al incremento de la temperatura en el período más seco (Pabón et al., 2002) y al decrecimiento de la temperatura durante el período más húmedo; también se debe a la influencia de los fenómenos del Niño y La Niña durante el período 1971 a 2002.

- 5) Todos los modelos muestran la influencia de la altitud sobre la temperatura promedio mensual. Esto es acorde con el fenómeno físico debido a la altitud, donde la temperatura decrece cuando la altitud incrementa.
- 6) Los fenómenos del Niño y la Niña fueron modelados a través de la inclusión del Índice de Oscilación Sur para el mes en que ocurre, el Índice de Oscilación Sur para los dos meses previos al mes que se está evaluando. Ambos modelos muestran la influencia de los fenómenos del Niño y de la Niña sobre la modelación de la temperatura promedio.
- 7) Los fenómenos del Niño y la Niña también fueron modelados a través de variables Dummy, encontrándose resultados equivalentes entre los mapas de valores predichos, obtenidos con modelos utilizando el Índice de Oscilación Sur para el mes de análisis y para el modelo que involucra variables Dummy, modelando la influencia de los fenómenos del Niño y la Niña para el mes de análisis.
- 8) Los dos modelos descritos en 7) capturan la influencia de los fenómenos del Niño y la Niña sobre la temperatura promedio mensual, mostrando el incremento en los valores de temperatura durante el fenómeno del Niño y los decrecimientos de los valores de dicha variable durante el fenómeno de la Niña. Los mapas también reflejan el comportamiento de la temperatura promedio mensual durante las condiciones normales y los incrementos y decrecimientos de la temperatura promedio mensual durante los meses que pertenecen a los períodos más secos y húmedos, respectivamente.
- 9) Se analizó separadamente la correlación espacial y temporal de los errores de los modelos ajustados. Una estructura de covarianza espacio-temporal de los errores no fue analizada. Fue realizada una exploración inicial de los variogramas espacio-temporales de la temperatura promedio mensual. Los variogramas espaciales para los primeros rezagos muestran una forma cóncava y un comportamiento de continuidad espacial.

Un artículo de esta investigación fue sometido a la revista Weather and Forecasting, catalogada por COLCIENCIAS como A2. Se anexa el artículo en el siguiente capítulo sobre información de productos.

Información sobre productos

Participación con Ponencias Nacionales, Internacionales e Invitación a Conferencias

En el proyecto se planteó la realización de tres (3) ponencias nacionales y una (1) internacional. En total se participó con siete (7) ponencias nacionales y una (1) ponencia internacional. De igual manera, se participó a través de invitación de la Escuela de Estadística de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín y del Departamento de Estadística de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, con dos conferencias, respectivamente. A continuación se relacionan los productos generados por la participación en estos eventos:



Tipo de producto	Memoria de Congreso (Artículo)
Nombre General	Memorias IX Congreso Colombiano de Meteorología. Conferencia Internacional “200 años de la Meteorología y la Climatología en América Latina”. 2011.
Nombre Particular	Modelación Estadística de Variables Climáticas en el Valle del Cauca, Colombia
Ciudad y fechas	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia. Marzo 23 al 25 de 2011.
Participantes	Mercedes Andrade Bejarano; Gabriel Conde Arango; Karin Julieth Castañeda; Lina Marcela Castro, Nini Johana Cruz, Efraín Delgado; Álvaro Flórez Poveda; Claudia Alejandra Laverde; Víctor Hugo Malez; Caroly Medina; John Jairo Medina; Mauricio Mera; Greisy Ramírez; Lorena Rivas; Rubén Portillo; Diana Katherine Zape; Edison Andrés Zuluaga
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tipo de producto	Memoria de Congreso (Articulo)
Nombre General	Memorias IX Congreso Colombiano de Meteorología. Conferencia Internacional “200 años de la Meteorología y la Climatología en América Latina”. 2011.
Nombre Particular	Aplicación de la Suavización Spline en la Modelación de la Temperatura Promedio Mensual del Valle del Cauca Usando Ponderación por Diagramas de Voronoi
Ciudad y fechas	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia. Marzo 23 al 25 de 2011.
Participantes	José Efraín Delgado; Mauricio Mera; Álvaro Flórez Poveda; Mercedes Andrade Bejarano
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tipo de producto	Memoria de Simposio (Resumen)
Nombre General	XXI Simposio de Estadística 2011 “Modelos de Regresión”
Nombre Particular	Modelo Lineal Mixto Generalizado para la Modelación de la Temperatura Promedio Mensual en un Clima Tropical.
Ciudad y fechas	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia. Julio 19 al 23 de 2011.
Participantes	John Jairo Millán; Edison Andrés Zuluaga, Mercedes Andrade Bejarano
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR

Tipo de producto	Memoria de Simposio (Resumen)
Nombre General	XXI Simposio de Estadística 2011 “Modelos de Regresión”
Nombre Particular	Modelo Lineal Mixto Generalizado para la Precipitación Mensual en el Departamento del Valle del Cauca, en los Periodos de 1971 a 2009
Ciudad y fechas	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia. Julio 19 al 23 de 2011.
Participantes	Rubén Alexis Portillo; Caroly Medina; Mercedes Andrade Bejarano; Gabriel Conde Arango
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tipo de producto	Memoria de Simposio (Resumen)	
Nombre General	XXI Simposio de Estadística 2011 “Modelos de Regresión”	
Nombre Particular	Modelación de la Precipitación Diaria en el Departamento del Valle del Cauca, en el Periodo 1971-2009, a través de Modelos Mixtos Lineales Generalizados	
Ciudad y fechas	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia. Julio 19 al 23 de 2011.	
Participantes	Nini Johana Cruz; Víctor Hugo Malez; Mercedes Andrade Bejarano; Gabriel Conde Arango	
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR	
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR	

Tipo de producto	Memoria de Simposio (Resumen)	
Nombre General	XXI Simposio de Estadística 2011 “Modelos de Regresión”	
Nombre Particular	Modelación de la Temperatura Mínima Mensual en el Valle del Cauca a través de la Teoría de Valores Extremos	
Ciudad y fechas	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia. Julio 19 al 23 de 2011.	
Participantes	Greisy Fairuths Ramírez; María Lorena Rivas; Mercedes Andrade Bejarano; Gabriel Conde Arango	
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR	
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR	



Tipo de producto	Memoria de Simposio (Documento Ponencia en Extenso)
Nombre General	XXI Simposio de Estadística 2011 “Modelos de Regresión”
Nombre Particular	Modelación de la Precipitación Diaria en el Departamento del Valle del Cauca, en el Periodo 1971-2009, a través de Modelos Mixtos Lineales Generalizados
Ciudad y fechas	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia. Julio 19 al 23 de 2011.
Participantes	Lina Marcela Castro; Claudia Alejandra Laverde; Mercedes Andrade Bejarano; Gabriel Conde Arango
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tipo de producto	Ponencia Internacional
Nombre General	Joint Statistical Meeting. American Statistical Association
Nombre Particular	Generalised Linear Mixed Models for Monthly Average Temperature in an Intertropical Region
Ciudad y fechas	Miami Beach, Florida, Julio 30 a Agosto 4 de 2011
Participantes	Mercedes Andrade Bejarano; Edison Andrés Zuluaga; John Jairo Millán; Gabriel Conde Arango
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tipo de producto	Conferencia
Nombre General	Seminario Institucional Escuela de Estadística. Universidad Nacional de Colombia
Nombre Particular	Modelos Lineales Mixtos con Estructuras de Covarianza Espacial y Temporal de los Errores
Ciudad y fechas	Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Marzo 28 de 2011
Participantes	Mercedes Andrade Bejarano
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR

Tipo de producto	Conferencia
Nombre General	Seminario Departamento de Estadística. Universidad Nacional de Colombia
Nombre Particular	Modelos Lineales Mixtos y Mixtos Generalizados: Outliers y Modelación de Variables Climáticas
Ciudad y fechas	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá., Colombia. Octubre 3 de 2011
Participantes	Mercedes Andrade Bejarano
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR

Artículos

- 1) Se sometió el artículo “Aplicación de la Suavización Spline en la Modelación de la Temperatura Promedio Mensual en el Valle del Cauca Usando Ponderación por Diagramas de Voronoi. Este artículo fue sometido a la revista “Ingeniería y Ciencia” de la Universidad EAFIT, la cual es catalogada por COLCIENCIAS como A2. En la propuesta de investigación se planteó en el ítem de productos de nuevo conocimiento, el someter un artículo en revista catalogada por COLCIENCIAS como B.
- 2) Tres (3) artículos más fueron sometidos. Uno de ellos, “Monthly Average Temperature Modelling in an Intertropical Region”, fue sometido a la revista “Weather and Forecasting”, catalogada por COLCIENCIAS como A2 y los otros dos artículos titulados “Modelación de la Temperatura Mínima y Máxima Mensual en el Valle del Cauca, Colombia, a través de la Teoría de Valores Extremos” y “Determinación de la Correlación Espacial y Temporal de la Precipitación Mensual en el Valle del Cauca, en el Período 1971 a 2009” fueron sometidos a la revista A2 “Ingeniería y Ciencia” de la Universidad EAFIT. En la propuesta de investigación se planteó como productos a entregar el someter dos artículos en revista C.

A continuación se relaciona la información sobre estos productos:

Tipo de producto	Artículo Sometido
Nombre General	Revista Ingeniería y Ciencia. Unversidad EAFIT, Colombia
Nombre Particular	Aplicación de la Suavización Spline en la Modelación de la Temperatura Promedio Mensual del Valle del Cauca Usando Ponderación por Diagramas de Voronoi
Ciudad y fechas	
Participantes	Álvaro José Flórez; José Efraín Delgado; Mauricio Mera Hoyos
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tipo de producto	Artículo Sometido
Nombre General	Revista Ingeniería y Ciencia. Universidad EAFIT, Colombia
Nombre Particular	Modelación de la Temperatura Mínima y Máxima Mensual en el Valle del Cauca, Colombia, a través de la Teoría de Valores Extremos
Ciudad y fechas	
Participantes	Greisy Ramírez Quiñonez; Maria Lorena Rivas Ordoñez; Mercedes Andrade Bejarano; Gabriel Conde Arango
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tipo de producto	Artículo Sometido
Nombre General	Revista Ingeniería y Ciencia. Universidad EAFIT, Colombia
Nombre Particular	Determinación de la Correlación Espacial y Temporal de la Precipitación Mensual en el Valle del Cauca, en el Período 1971 a 2009
Ciudad y fechas	
Participantes	Karin Juliet Castañeda Tique; Diana Katherine Zape; Mercedes Andrade Bejarano; Gabriel Conde Arango
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tipo de producto	Artículo Sometido
Nombre General	Weather and Forecasting. American Meteorology Society
Nombre Particular	Monthly Average Temperature Modelling in an Intertropical Region
Ciudad y fechas	
Participantes	Mercedes Andrade Bejarano
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Profesores Visitantes en el Marco de este Proyecto, Cursos de Extensión Organizados y Publicaciones Adicionales

En el marco de este proyecto, entre el 18 de Noviembre y el 9 de Diciembre de 2011, se invitó al profesor Visitante Nicholas Tibor Longford, quien dictó el curso “Random Coefficient Model”, dirigido a los estudiantes de la Especialización en Estadística y del Doctorado de la Facultad de Ingeniería. De igual manera, la investigadora principal de este proyecto, Profesora Mercedes Andrade Bejarano, trabajó con el Dr. Longford la investigación “Pruebas de Hipótesis acerca de las Componentes de Varianza en el Modelo Lineal Mixto”, de la cual se escribieron los artículos “Decision Theory for the Variance Ratio in ANOVA with Random Effects”, el cual fue sometido a “Scandinavian Journal of Statistics” y “Test for Spatial and Temporal Correlation in Mixed Models for Climate Data”, el cual está siendo corregido para ser sometido a publicación. De igual manera, el Dr. Longford dictó la conferencia “Small Area Estimation”, en el marco del Ciclo de Conferencias del Área de Estadística. A continuación se relacionan los productos de estas actividades:

Tipo de producto	Curso de Extensión (Memorias)
Nombre General	Curso de Extensión Dirigido a los Estudiantes de Doctorado y de la Especialización en Estadística Aplicada
Nombre Particular	Random Coefficient Model
Ciudad y fechas	Noviembre 23, 24,25, 28 y 29 de 2011
Participantes	Nicholas Tibor Longford
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tipo de producto	Conferencia
Nombre General	Ciclo de Conferencias Área de Estadística. Segundo Semestre de 2011
Nombre Particular	Small Area Estimation
Ciudad y fechas	Diciembre 9 de 2011
Participantes	Nicholas Tibor Longford
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR

Tipo de producto	Artículo Sometido
Nombre General	Scandinavian Journal of Statistics
Nombre Particular	Decision Theory for the Variance Ratio in ANOVA with Random Effects
Ciudad y fechas	
Participantes	Nicholas Tibor Longford; Mercedes Andrade Bejarano
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tipo de producto	Artículo en Press
Nombre General	
Nombre Particular	Test for the Spatial and Temporal Correlation in Mixed Models for Climate Data
Ciudad y fechas	
Participantes	Mercedes Andrade Bejarano; Nicholas Tibor Longford
Sitio de Información	Archivo de Documentación del Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tesis de Pregrado

Se vincularon catorce estudiantes del Programa Académico de Estadística, quienes trabajaron sus trabajos de grado en el marco de este proyecto de investigación. Seis (6) trabajos de grado han sido sustentados, todos ellos con calificaciones superiores a 4.6, dos de ellos obtuvieron la máxima nota (5.0). El trabajo de grado restante fue concluido y se encuentra en etapa de revisión. A continuación se relacionan los productos:

Tipo de producto	Tesis (Pregrado) Sustentada
Nombre General	
Nombre Particular	Determinación de la Correlación Espacial y Temporal de la Precipitación Mensual en el Valle del Cauca, en el Periodo (1971-2009)
Ciudad y fechas	Cali, Mayo 17 de 2012
Participantes	Karin Julieta Castañeda y Diana Katherine Zape. Directora: Mercedes Andrade Bejarano. Codirector: Gabriel Conde Arango
Sitio de Información	Biblioteca Central
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tipo de producto	Tesis (Pregrado) Sustentada
Nombre General	
Nombre Particular	Modelo Lineal Mixto Generalizado para la Precipitación Mensual en el Departamento del Valle del Cauca, en el Periodo 1971 a 2009
Ciudad y fechas	Cali, Mayo 17 de 2012
Participantes	Caroly Nathaly Medina Pacheco y Rubén Alexis Portillo Rosero. Directora: Mercedes Andrade Bejarano. Codirector: Gabriel Conde Arango
Sitio de Informacion	Biblioteca Central
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR

Tipo de producto	Tesis (Pregrado) Sustentada
Nombre General	
Nombre Particular	Modelación de la Temperatura Máxima Mensual en el Valle del Cauca Mediante la Teoría de Valores Extremos
Ciudad y fechas	Marzo 14 de 2012
Participantes	Lina Marcela Castro Cano y Claudia Alejandra Laverde García. Directora: Mercedes Andrade Bejarano. Codirector: Gabriel Conde Arango
Sitio de Informacion	Biblioteca Central
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tipo de producto	Tesis (Pregrado) Sustentada
Nombre General	
Nombre Particular	Modelación de la Temperatura Mínima Mensual en el Valle del Cauca, Colombia, a través de la Teoría de Valores Extremos
Ciudad y fechas	Marzo 13 de 2012
Participantes	Greisy Fairuths Ramírez Quiñones y María Lorena Rivas Ordoñez. Directora: Mercedes Andrade Bejarano. Codirector: Gabriel Conde Arango
Sitio de Informacion	Biblioteca Central
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR

Tipo de producto	Tesis (Pregrado) Sustentada
Nombre General	
Nombre Particular	Modelación de la Temperatura Promedio Mensual en el Valle del Cauca, Mediante Modelos Lineales Mixtos Generalizados
Ciudad y fechas	Marzo 8 de 2012
Participantes	Edison Andrés Zuluaga Duque y John Jairo Millán Hernández. Directora: Mercedes Andrade Bejarano. Codirector: Gabriel Conde Arango
Sitio de Informacion	Biblioteca Central
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR



Tipo de producto	Tesis (Pregrado) Sustentada
Nombre General	
Nombre Particular	Aplicación de la Suavización Spline en la Modelación de la Temperatura Promedio Mensual del Valle del Cauca Usando Ponderación por Diagramas de Voronoi
Ciudad y fechas	Febrero 23 de 2011
Participantes	José Efraín Delgado; Mauricio Mera Hoyos. Director: Álvaro Flórez Poveda
Sitio de Informacion	Biblioteca Central
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR

Tipo de producto	Tesis (Pregrado). Concluida por el Estudiante. En revisión por el Director y Codirector del trabajo de grado
Nombre General	
Nombre Particular	Modelación de la Precipitación Diaria para el Valle del Cauca, en el Período 1971-2009 a Través de Modelos Lineales Mixtos Generalizados
Ciudad y fechas	
Participantes	Nini Johana Cruz y Víctor Hugo Malez. Directora: Mercedes Andrade Bejarano. Codirector: Gabriel Conde Arango
Sitio de Informacion	Biblioteca Central
Formas organizativas	Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR

3. Equipos

No se adquirió ningún equipo.

4. Impactos:

En este proyecto se pueden destacar los siguientes impactos:

- 1) Se formaron como semilleros de investigación catorce estudiantes del Programa Académico de Estadística, quienes trabajaron sus proyectos de grado en el marco de este proyecto de investigación. Seis trabajos de grado fueron sustentados obteniendo la máxima nota (5.0), los dos restantes con notas superiores a 4.6.
- 2) Tres profesores de la Escuela de Estadística se vincularon a este proyecto, uno de ellos, el Profesor Álvaro Flórez Poveda, nombrado en la Convocatoria Docente de 2011; contribuyendo esta investigación a formar escuela en el Grupo de Investigación en Estadística Aplicada INFERIR y al relevo generacional de los profesores de la Escuela de Estadística
- 3) Se trabajaron metodologías de punta de la Estadística como lo son el Modelo Lineal Mixto y el Modelo Lineal Generalizado Mixto. Las cuales no habían sido utilizadas en la modelación de variables climáticas.
- 4) Se realizó una amplia divulgación de los resultados de esta investigación a través de la participación con siete ponencias en prestigiosos eventos nacionales, como lo son el Simposio de Estadística y el Congreso Colombiano de Meteorología. A nivel internacional, en la reunión a nivel de Estadística que mas congrega participantes en el mundo, como lo es la Joint Statistical Meeting, de la American Statistical Association. De igual manera, se participó a través de invitación a conferencias en los seminarios de Estadística de la Universidad Nacional de Colombia, sedes Bogotá y Medellín.
- 5) En el marco de este proyecto de investigación se invito como Profesor Visitante del Área de Estadística de la antigua Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística al Dr. Nicholas Tibor Longford, reconocido investigador de Estadística a nivel mundial, quien dictó el curso de extensión "Random Coefficient Model". Este curso estuvo dirigido a los Estudiantes del Doctorado en Ingeniería y de la Especialización en Estadística Aplicada. De igual manera, junto con la Profesora Mercedes Andrade Bejarano avanzó en la investigación "Pruebas de Hipótesis acerca de las Componentes de Varianza en el Modelo Lineal Mixto", del cual se produjeron dos artículos uno de ellos sometido y el otro en revisión.
- 6) A partir de este proyecto de investigación se creó el Grupo de Investigación en Estadística y Clima, el cual actualmente está conformado por cuatro profesores de la Escuela de Estadística, seis nuevos estudiantes de pregrado quienes están realizando sus trabajos de grado en nuevos proyectos de modelación de clima. Al grupo de investigación en Estadística y Clima también pertenecen dos investigadores del Área de Meteorología, del Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar CENICAÑA y próximamente se vinculará al grupo un estudiante de la primera promoción de la Maestría en Estadística, quien realizara su trabajo de investigación de Maestría en el marco de un nuevo proyecto de investigación del Grupo.

Este grupo que en el momento se está consolidando tiene como objetivo la creación de



la Red Sinóptica de Pronóstico de Clima en el Valle del Cauca, cuyo objetivo es la pronóstico del clima en tiempo real.

A continuación se presenta un subcapítulo titulado “Propuestas para ser presentadas en convocatorias externas que reúne las ideas de este nuevo proyecto de investigación que surgió como resultado del proyecto de investigación “Modelación Estadística de Variables Climáticas en el Suroccidente Colombiano”

5. Propuestas para ser Presentadas en Convocatorias Externas

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTADÍSTICA**

PROPUESTA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO DE PRONÓSTICO REGIONAL DEL ESTADO DEL TIEMPO

A partir de los resultados y productos del proyecto “Modelación de Variables Climáticas del Sur – Occidente Colombiano” y las relaciones entre entidades cuyos principios e insumos son precisamente tales variables climáticas, que de cierta manera movieron este proyecto, es posible “mirar” hacia un futuro próximo y proponer como idea general la construcción de una estructura regional que tenga como objeto fundamental la recolección, procesamiento y gestión, modelación y difusión de resultados tales como pronósticos o caracterización del clima en nuestra región. Esto con miras a su utilización social o industrial a través de instituciones u organizaciones que lo requieran, en especial las del sector agrícola.

A continuación se dan las ideas generales para esta construcción de esta herramienta que la podemos concebir como una red, en la medida que asocia y relaciona entidades interesadas, centros de investigación y usuarios utilitarios que finalmente destinarán la información climatológica de salida para la planeación y las decisiones adecuadas.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PRONÓSTICO REGIONAL DEL ESTADO DEL TIEMPO Y VARIABLES CLIMATICAS A CORTO PLAZO PARA EL VALLE DEL CAUCA.

JUSTIFICACIÓN Y PERTINENCIA

En nuestra época es importante el estudio general del estado del tiempo conjuntamente con las variables que lo definen (temperatura, precipitación, humedad, radiación solar, velocidad y dirección del viento), especialmente en nuestro entorno geográfico y temporal inmediato como es el valle geográfico del río Cauca incluyendo las cordilleras que lo determinan. Es fundamental, además, modelar y pronosticar en términos de estas variables teniendo en cuenta la planeación de diversos cultivos en especial el de la caña de azúcar que caracteriza en buena parte a nuestra región y que por otro lado, involucra instituciones de orden investigativo en varias disciplinas anexas, entre ellos Cenicaña, la Universidad del Valle, la CVC, el ICA, el CIAT y el propio IDEAM. Además de las estaciones meteorológicas y las redes de datos asociadas contamos con los centros de investigación y sus recursos tecnológicos y humanos.

Esta propuesta va direccionada a la creación de una red que integre, en lo posible, los anteriores elementos. Es claro que tal integración conlleva la creación, a su vez, de un sistema que partiendo de la recolección adecuada de la información, el procesamiento para su organización y la creación de modelos matemáticos, físicos y estadísticos provea y difunda socialmente resultados para la planeación, predicción y la toma de decisiones por parte de organizaciones o asociaciones agrícolas públicas o privadas que lo requieran.

Es importante tener en cuenta el papel de los centros científicos sobre todo en lo referente a la modelación y la gestión y socialización de datos e información final que deberá consolidarse en un sistema de información. En éste marco se ubica la Escuela de Estadística de la Universidad del Valle con su potencial en la modelación estadística en general y los modelos de pronósticos y demás temáticas que se trabajan o se han abordado históricamente en la Escuela, en particular la actividad del grupo de investigación INFERIR.

OBJETIVO

- Se pretende desarrollar un sistema de pronóstico a corto plazo (hasta 72 horas) de las condiciones meteorológicas para las diferentes zonas del valle del río Cauca a partir del análisis y modelación utilizando técnicas estadísticas, de pronósticos, inteligencia artificial e imágenes.
- Constitución de una red que permita adquirir, gestionar, procesar, modelar y difundir la información climatológica que sea útil a las diferentes entidades y asociaciones agrícolas del Valle del Cauca para fines de planeación.

ELEMENTOS METODOLOGICOS Y MARCO TEÓRICO

La utilización de la tecnología actual definirá, en parte, la metodología relacionada con la recolección de información a través de datos anexos a variables climáticas tales como estaciones meteorológicas e información satelital.

En cuanto a lo metodológico desde el punto de vista tendremos las bases teóricas de disciplinas tales como: la estadística (métodos multivariados, modelos estadísticos de regresión, no generalizados, modelos mixtos, procesos estocásticos, estadística no paramétrica), la meteorología, inteligencia artificial,

Es necesario, además la consideración y aplicación de técnicas como la creación de software especializado conjuntamente con la aplicación de la metodología de los sistemas de información que garanticen un adecuado procesamiento y flujo de información entre las partes de la red.

El análisis se centrará en datos con las siguientes características:

- 1) Datos climatológicos diarios y horarios de variables atmosféricas (información climatológica)
- 2) Datos meteorológicos horarios y diarios en tiempo real
- 3) Información y pronóstico sobre condiciones de macro escala tales como el fenómeno del

Niño, de la Niña, oscilación sur (ENOS), oscilación decadal del Pacífico, oscilación del Atlántico Norte (OAN), oscilación Madden – Julian (OMI), ondas Kelvin (OK)

- 4) Información y pronósticos sinópticos de mesoescala sobre la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), ondas tropicales del este (OTE).

Las siguientes serán, inicialmente, las fuentes de información:

- 1) Estaciones de Red Meteorológica Automatizada de la Agroindustria Colombiana de la caña de azúcar que opera CENICAÑA.
- 2) Estaciones de las Redes Sinóptica Nacional, Climatológica Nacional, y de Alertas Hidrometeorológicas del IDEAM.
- 3) Estaciones de la Red Climatológica y de la Red de Alertas Hidroclimatológicas de la CVC.
- 4) Datos y predictores termodinámicos obtenidos por mediciones realizadas en una torre meteorológica localizada en las instalaciones de CENICAÑA, dentro de una investigación conjunta CENICAÑA – CVC.
- 5) Sistema global de monitoreo de eventos de macroescala (NOAA, IRI y otras agencias especializadas).

Modelos globales de mesoescala de pronóstico de condiciones meteorológicas.

RECURSOS INSTITUCIONALES E INVESTIGADORES PARTICIPANTES

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, CENICAÑA

Programa de Agronomía, Área de Meteorología

Participantes:

Enrique Cortés B, Ingeniero Meteorólogo, Meteorólogo CENICAÑA

Camilo Barrios P. Estudiante de tesis, Ingeniería Agrícola, Universidad del Valle

Alberto Palma Z. Estadístico, Biometrista CENICAÑA

Paulo José Murillo, Ingeniero Topográfico, Analista de Percepción Remota

Fabio Andrés Herrera, Ingeniero Topográfico, Analista de Sistemas de Información Geográfica



Universidad del Valle

Escuela de Estadística

Participantes:

Mercedes Andrade B, Ph.D. en Estadística. Profesora Asociada, Directora Escuela de Estadística

Wilmar Alexander Torres: Estadístico, Profesor Escuela de Estadística

Gabriel Conde A, Matemático y Estadístico, M.Sc. en Ingeniería de Sistemas. Profesor Escuela de Estadística.

Álvaro Flórez. Estadístico, Profesor Escuela de Estadística

Javier Olaya, Ph.D en Estadística, Profesor Asociado, Escuela de Estadística

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC

Dirección Técnica Ambiental. Grupo de Sistemas de Información Ambiental. Grupo de Recursos Hídricos

Participantes:

Harold González P., Estadístico, Profesional Especializado.

Claudia Yiselly Soto, Profesional Especializado. Pronósticos Hidrológicos

Oscar Ramírez B. Profesional Especializado. Pronósticos Hidrológicos

Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM

Subdirección de Meteorología, Oficina de Pronósticos y Alertas Hidrometeorológicas, Área de Climatología.

Participantes:

María Teresa Martínez, Físico – Matemática, Meteoróloga. Pronósticos IDEAM

Franklin Ruiz, MSc., en Meteorología, Pronósticos IDEAM

PRODUCTOS ESPERADOS

Es clara la importancia que tienen los pronósticos y los análisis de las variables climáticas sobre todo para el sector estatal (en lo referente a la planificación de prevención de desastres) y el sector agrícola, hacia el cual estaría dirigido los productos de este proyecto. En este sentido los productos fundamentales proyecto serían: Un sistema de consulta de pronóstico del clima en tiempo real, modelos estadísticos y su difusión a través de artículos y publicaciones especializadas, la metodología establecida, diversas utilidades computacionales (software)

IMPACTO AMBIENTAL

Conocer el medio ambiente del hombre en la Tierra es, por supuesto, fundamental para la conservación de la vida en el planeta. Lo importante de los resultados de este proyecto es parte de este conocimiento, así sea a nivel local. Se resalta que la asociación y utilización de la tecnología incluyendo el conocimiento y práctica de las disciplinas involucradas, trae como resultado un conocimiento cada vez más profundo de la situación ambiental regional y por lo tanto la planificación de acciones para mejorar las condiciones agrícolas (y sociales) de nuestro medio.



VICERRECTORIA DE
INVESTIGACIONES
División de Proyectos

GUIA PARA LA ELABORACIÓN DE RESUMEN DE INFORMES FINALES PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN