

AVANCE EN EL MODELAMIENTO DE VARIABLES ATMOSFÉRICAS A PARTIR DE DATOS GNSS EN COLOMBIA

Omar David Bolívar Fonseca

obolivar@igac.gov.co

Nathalie Sofía Ramírez Sánchez

nramirez@igac.gov.co

William Alberto Martínez Díaz

wamarti@igac.gov.co

Grupo Interno de Trabajo de Geodesia
Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Heredia - Costa Rica 08 -10 de Agosto de 2011

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

- 1.1. Capas de la Ionósfera
- 1.2. Contenido Total de Electrones (TEC)

MATERIALES Y MÉTODOS

- 2.1. Área de estudio
- 2.2. Estaciones involucradas
- 2.3. Estrategia para la determinación del VTEC

RESULTADOS

- 3.1 Mapeo de la variable ionosférica VTEC (alta, media y baja)
- 3.2 Mapeo de la variable atmosférica ZWD

CONCLUSIONES Y ACTIVIDADES FUTURAS

CAPAS DE LA IONÓSFERA

La Ionósfera está dividida en tres regiones o capas: Capa D, Capa E, Capa F.

CAPA D

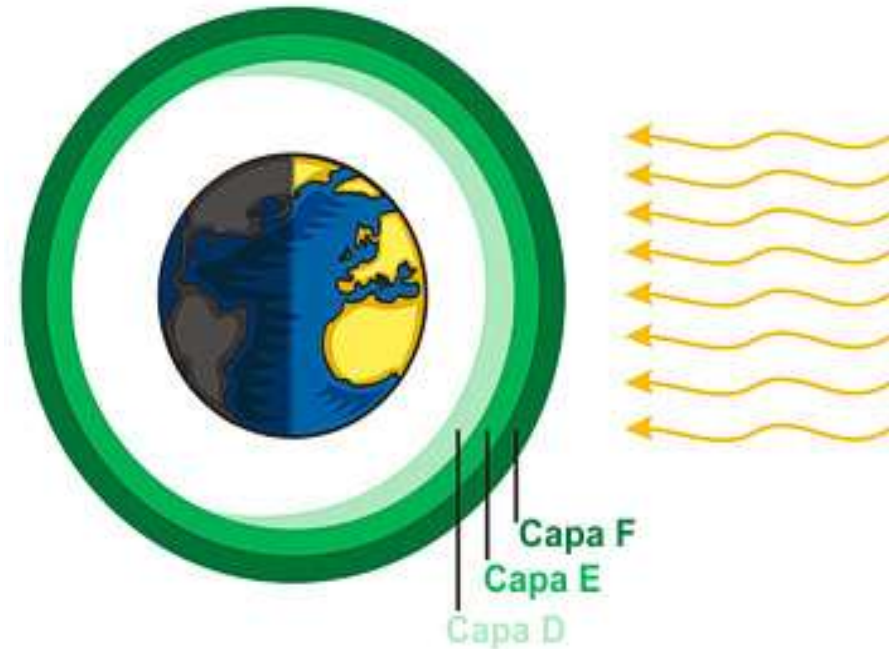
- Capa de la ionosfera más cercana a la Tierra. ubicada entre los 50 y 90 km de altura.

CAPA E

- Se sitúa entre 100 y 140 km sobre la superficie terrestre y refleja las ondas de radio de baja frecuencia.

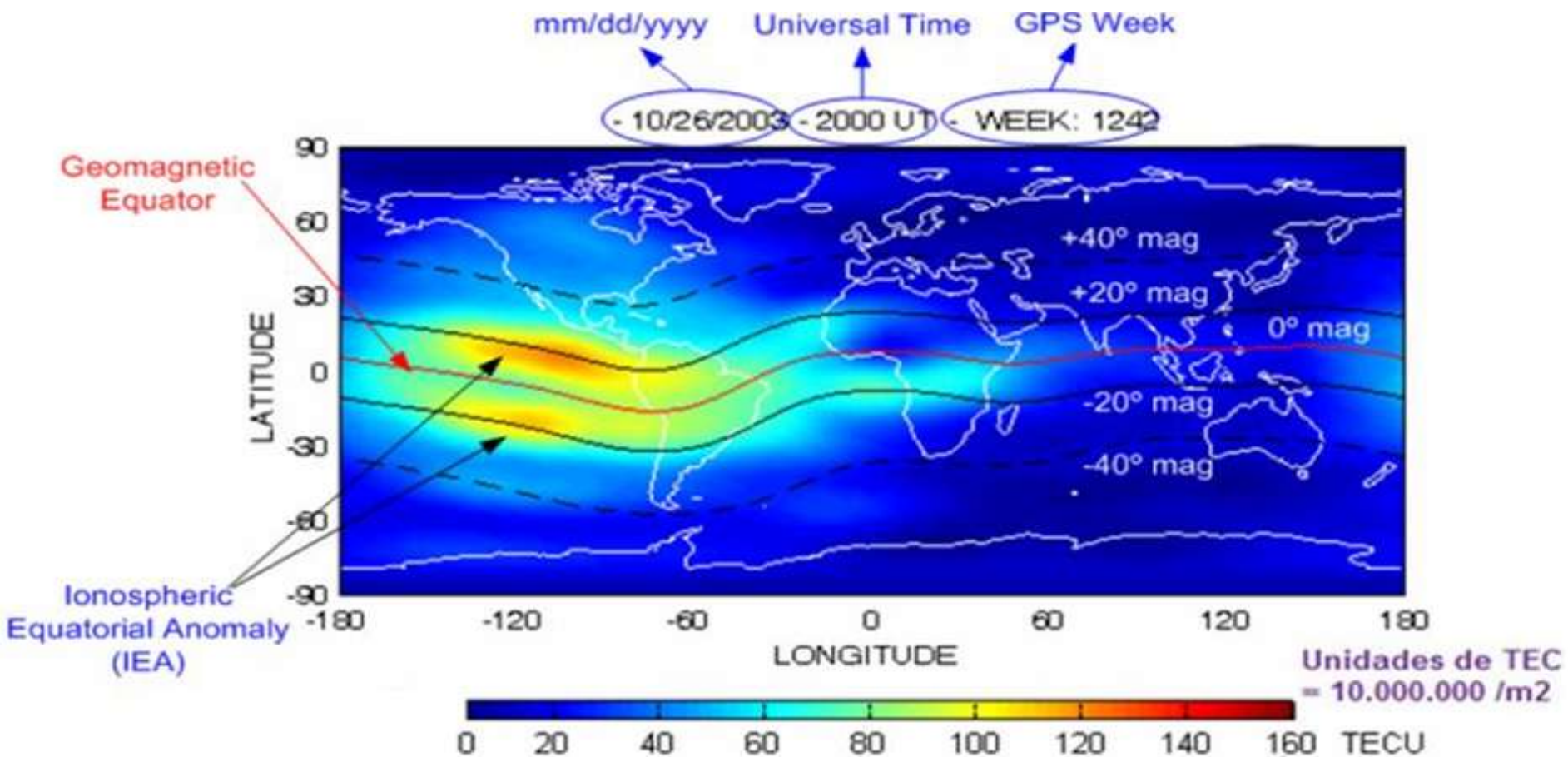
CAPA F

- Refleja ondas de radio con frecuencias mayores. Está comprendida entre los 140 y 400 km de altura en latitudes medias. Dentro de ella distinguimos las capas F1, comprendida entre 140 y 200 km, y F2, situada a continuación hasta los 500 km aproximadamente.



Fuente imagen: http://www.srh.noaa.gov/srh/jetstream_sp/atmos/Ionósfera_max.ht

ANOMALÍA ECUATORIAL



Fuente imagen: IONOSPHERIC EQUATORIAL ANOMALY STUDIES DURING SOLAR STORMS.PDF.

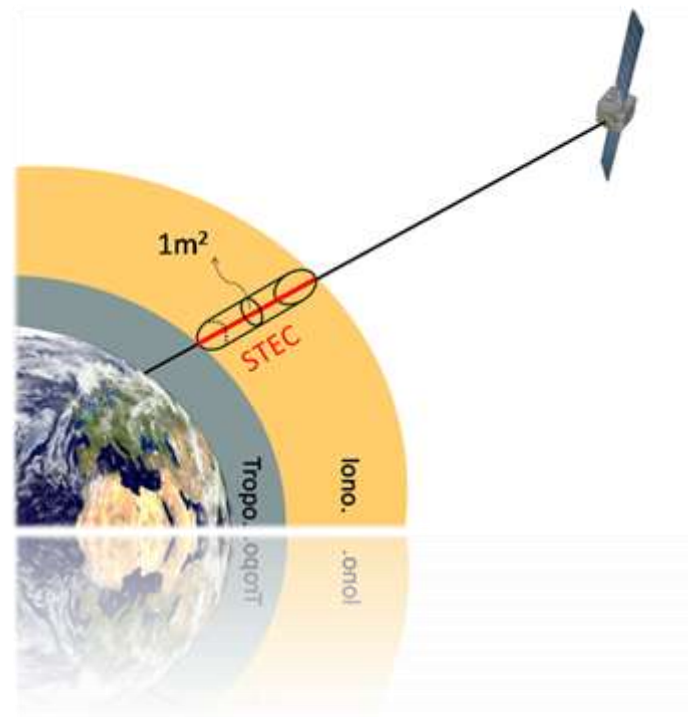
CONTENIDO TOTAL DE ELECTRONES (TEC)

Una de las magnitudes físicas de la ionósfera de gran interés es el Contenido Total de Electrones (TEC, Total Electron Content) que hace referencia al grado de ionización en la ionósfera.

Las señales GNSS se propagan a través de la Ionósfera, cambiando en proporción a la variación de la densidad de electrones a lo largo de la línea de visión entre el receptor y el satélite, área transversal de 1m^2

La unidad de medida es el TECU (Unidad del Contenido Electrónico Total):

$$1 \text{ TECU} = 1 * 10^{16} \text{ electrones/m}^2$$



CONTENIDO TOTAL DE ELECTRONES (TEC)

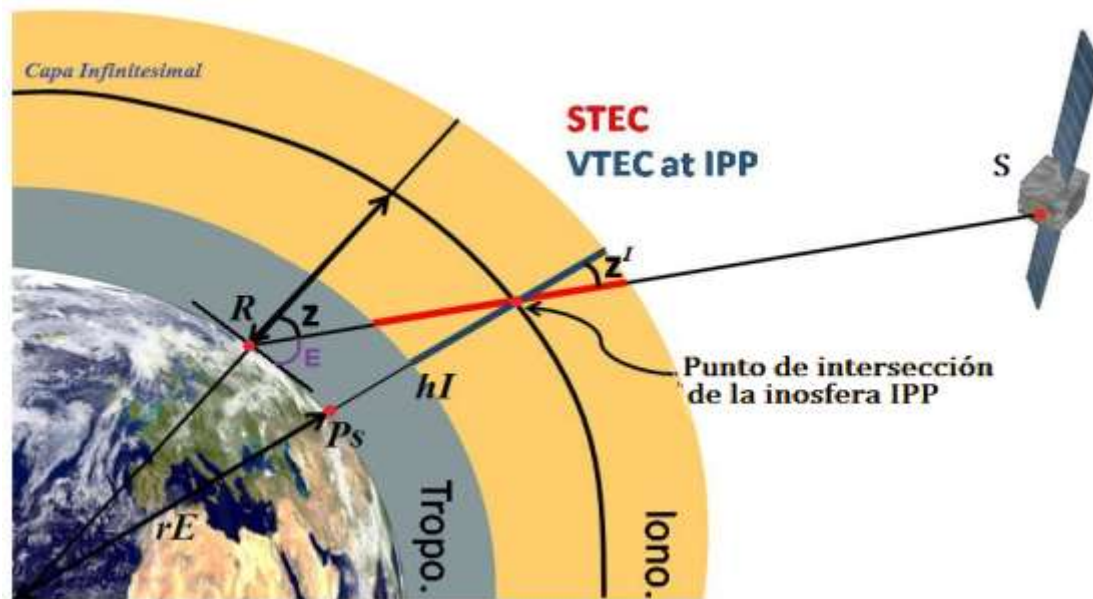
El VTEC toma la Ionósfera como una capa delgada por encima de un punto dado de la superficie de la Tierra. Esto supone que todos los electrones libres se concentran en una capa de espesor infinitesimal situado a la altura H .

$$VTEC = \frac{1}{F} * TEC.$$

Donde:

$$F = \frac{1}{\cos z^I}$$

$$z^I = \arcsin\left(\frac{r_E}{r_E + h_I} * \sin Z\right)$$



Fuente imagen: http://www.gnss.be/ionosphere_tutorial.php

Donde:

- P_I Punto donde la trayectoria RS corta la capa ionosférica
- r_E Radio de la Tierra
- Z Ángulo cenital de S para un observador en R

CONTENIDO TOTAL DE ELECTRONES (TEC)

Para el cálculo del TEC se utilizó la fórmula que se presenta a continuación

$$E(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^n \tilde{P}_{nm}(\sin \beta) (a_{nm} \cos ms + b_{nm} \sin ms)$$

Donde:

$\tilde{P}_{nm} = \Lambda(n, m) P_{nm}$ Son las funciones asociadas de Legendre normalizadas de grado n y orden m , basados en la función de normalización $\Lambda(n, m)$ y fu

a_{nm}, b_{nm} Son los coeficientes TEC de los armónicos esféricos

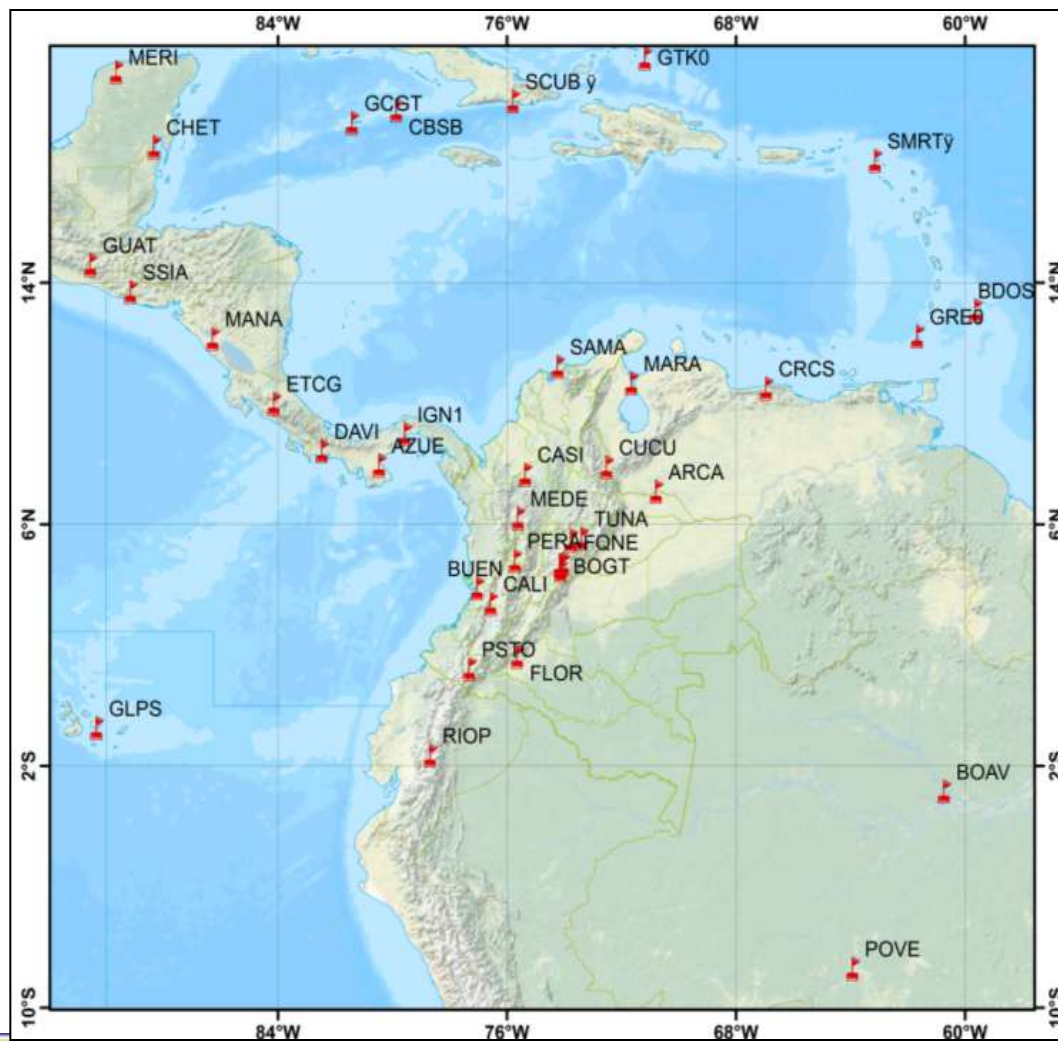
n_{max} Es el grado máximo de la expansión armónica esférica

β Latitud geográfica

s Longitud fija del sol

ÁREA DE ESTUDIO

NE	85° W, 15° N
NW	65° W, 15° N
SE	85° W, 5° S
SW	65° W, 5° S



ESTACIONES DE MONITOREO CONTINUO

En el procesamiento se emplearon los archivos RINEX de observación correspondiente a 83 estaciones de funcionamiento continuo.

Éstas pertenecen a la [red SIRGAS CON](#), dentro de las cuales se encuentran las que están ubicadas en [Colombia](#) pertenecientes a la red MAGNA-SIRGAS, y al Servicio Internacional de GNSS (IGS)

Adicionalmente para la corrección de las coordenadas de las estaciones se tomaron 10 [estaciones de referencia](#).



ESTRATEGIA PARA LA DETERMINACIÓN DEL TEC A PARTIR DE ESTACIONES GNSS

El cálculo del STEC, VTEC y la generación de los mapas ionosféricos se obtuvieron a través de tres procesos:

1. Solución de las ambigüedades de las observaciones y corrección a las coordenadas de las estaciones de funcionamiento continuo incluidas en la investigación,
2. Cálculo de los valores de STEC y VTEC empleando el software de procesamiento científico BERNESE versión 5.0,
3. Generación de mapas ionosféricos para el área de estudio.

1. CORRECCIÓN DE LAS COORDENADAS DE LAS ESTACIONES PERMANENTES



2. PROCESAMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE STEC Y VTEC

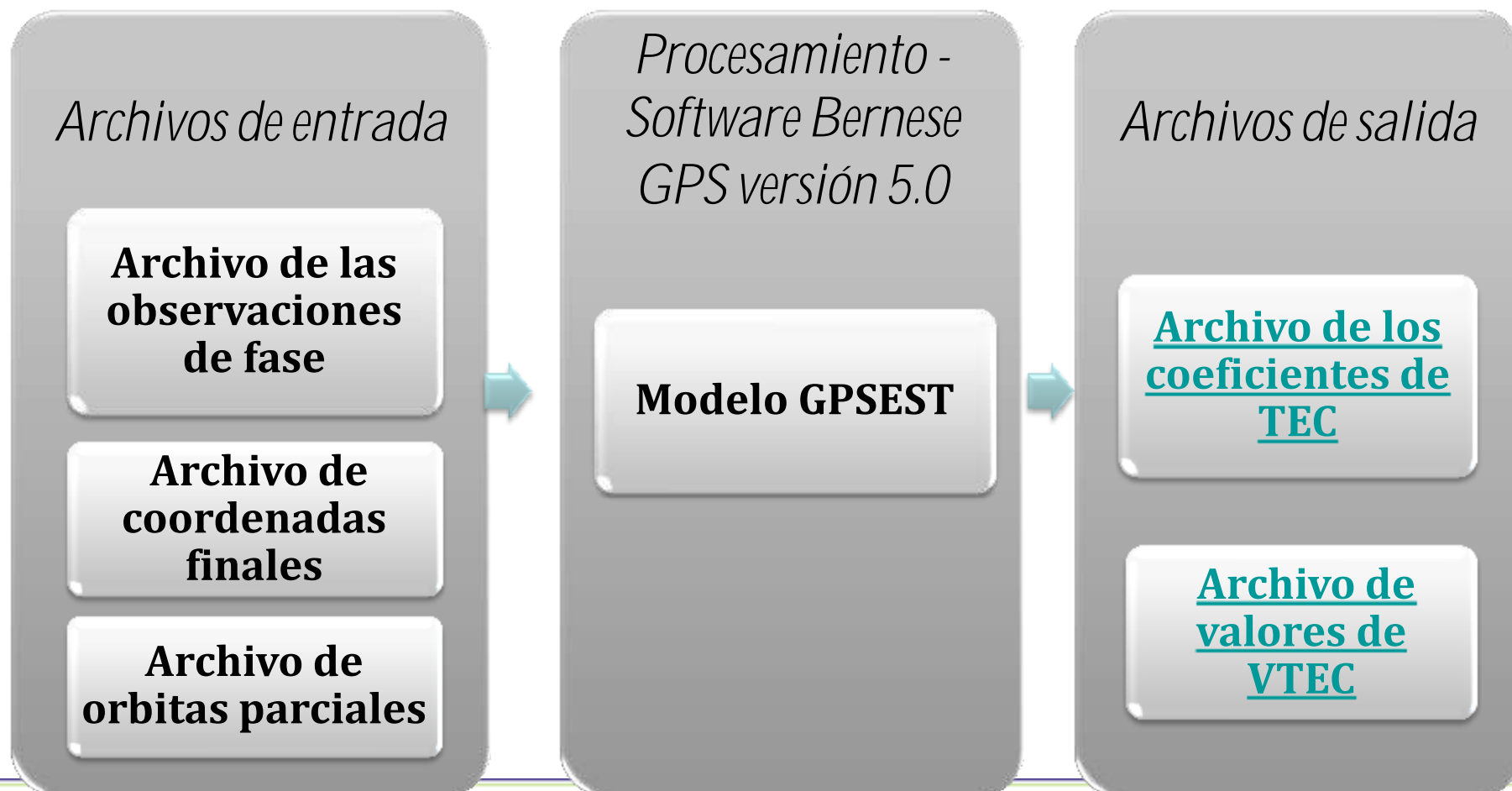
Variables para la definición de la Ionósfera

- La latitud geométrica del receptor.
- La hora del día.
- Elevación del satélite.
- Variaciones estacionales y diurnas solares.
- Actividad del sol (ciclos de 11 años).

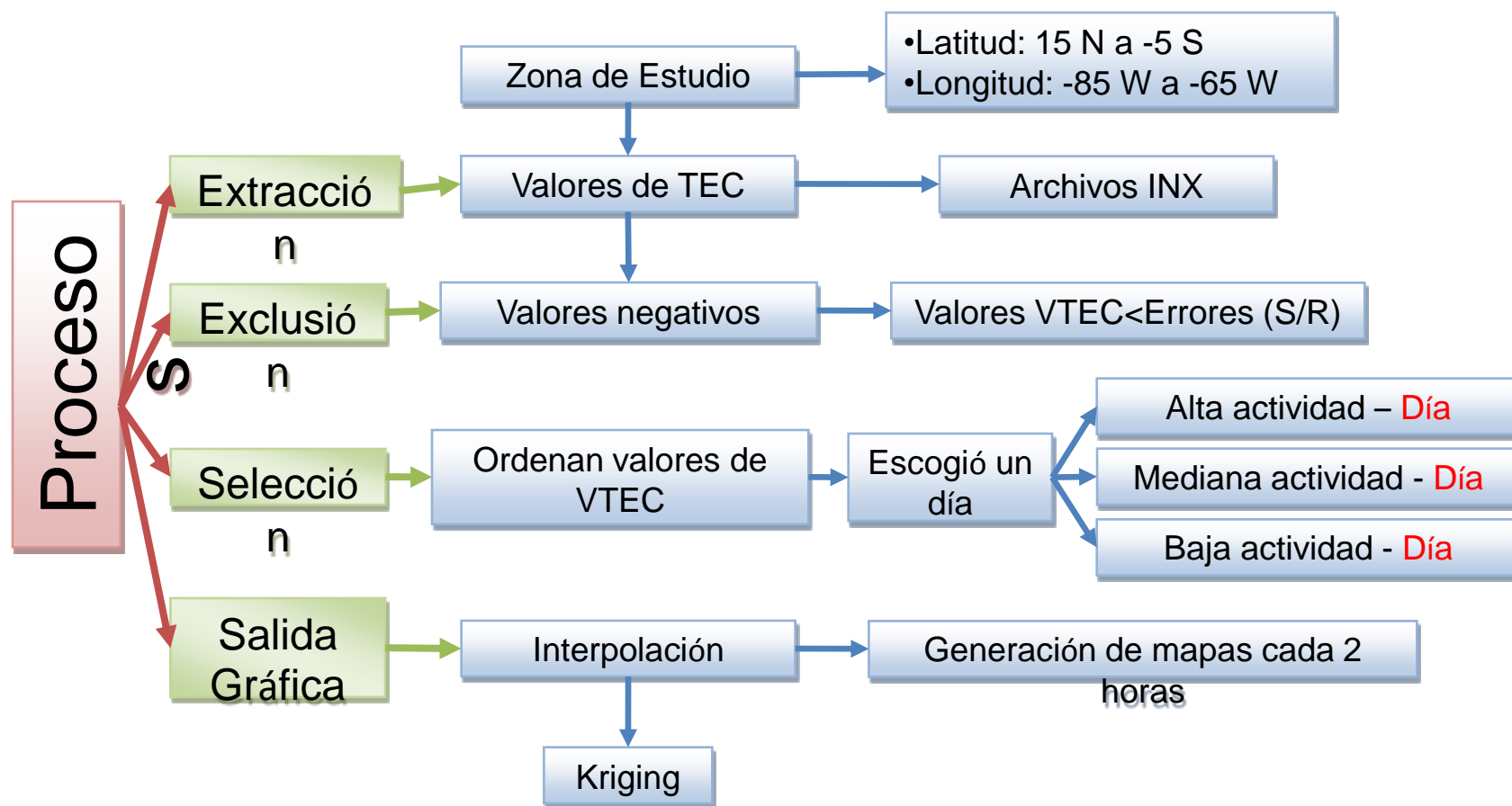
Parámetros empleados en el calculo del STEC y VTEC

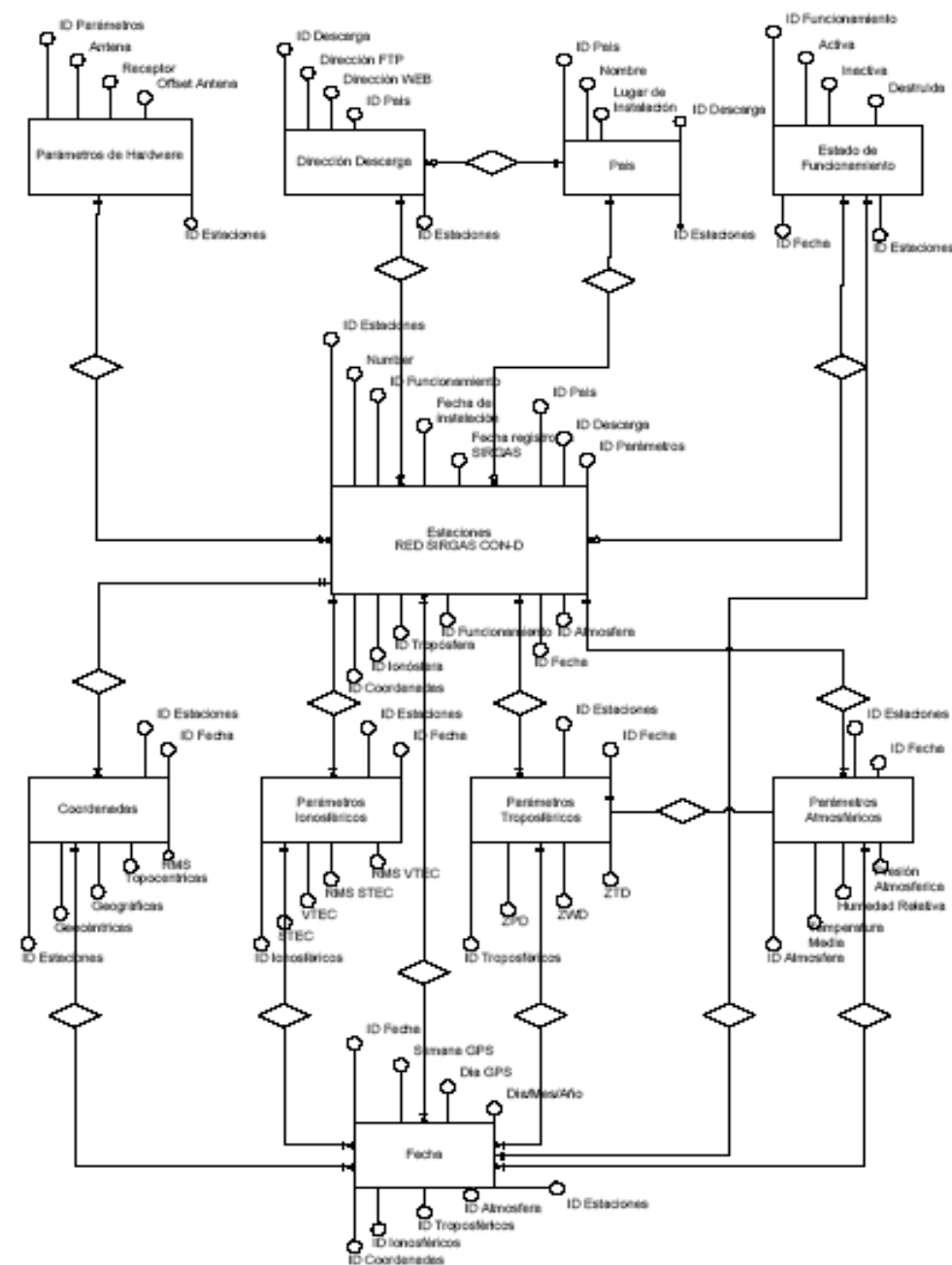
- Angulo de elevación de los satélites superiores a 10° sobre el horizonte
- Frecuencia L_4
- Máximo grado de armónicos esféricos 12 de la función STEC.
- Máximo Orden de armónicos esféricos 4 de la función STEC.
- Función de mapeo $1 / \cos Z$
- Altura de la ionósfera de 350 Km.
- Marco de referencia geomagnético.

2. PROCESAMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE STEC Y VTEC



3. POST-PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE VTEC



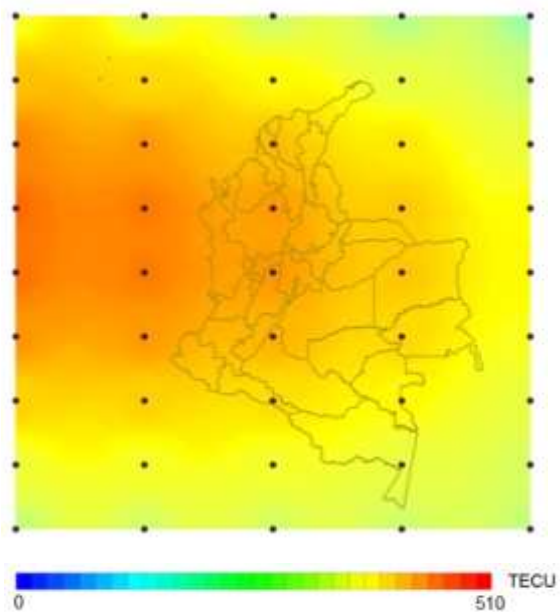


MODELO CONCEPTUAL SGDB ATMOSFERICO EN IGAC

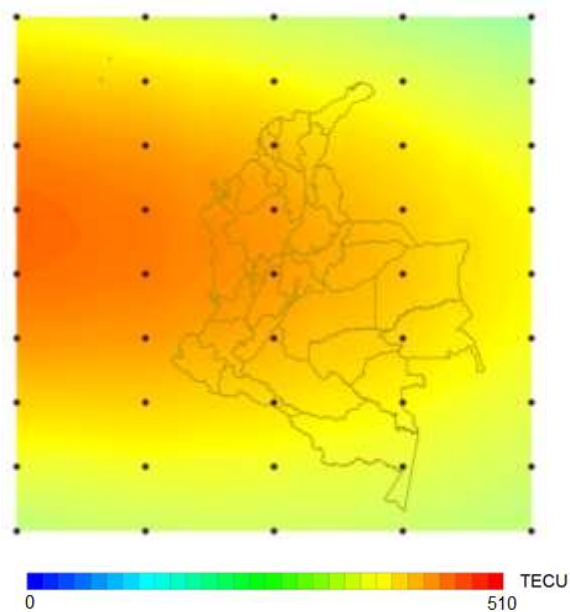
SGDB: Sistema de gestión de base de
datos relacional orientada a objetos
Postgres SQL

MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN

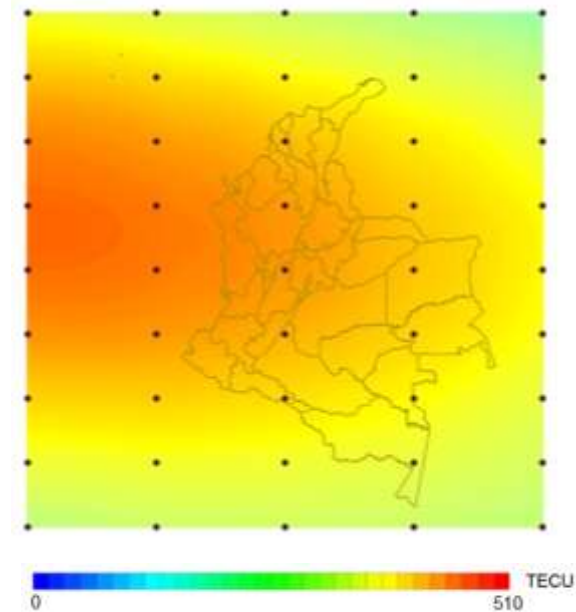
IDW



KRIGING



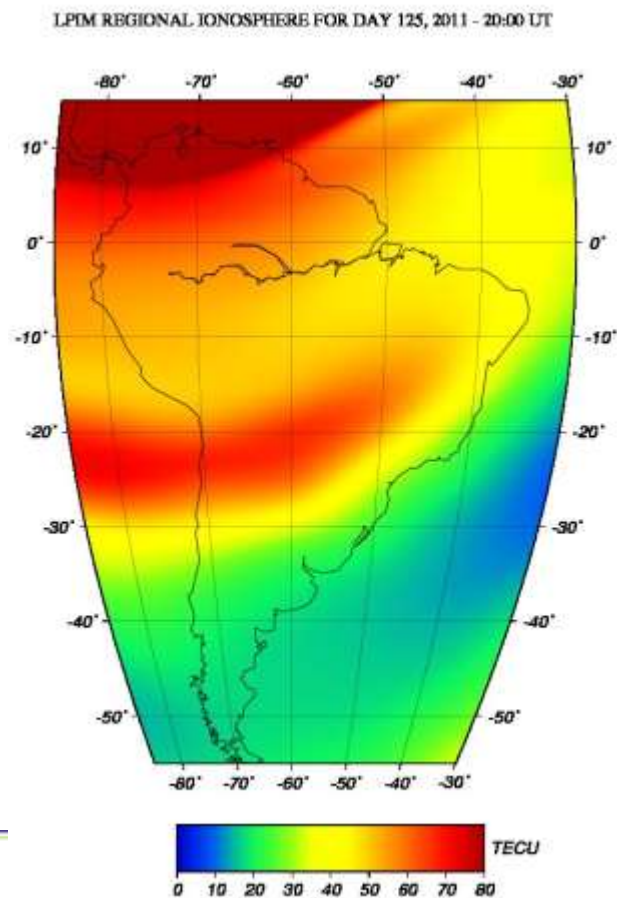
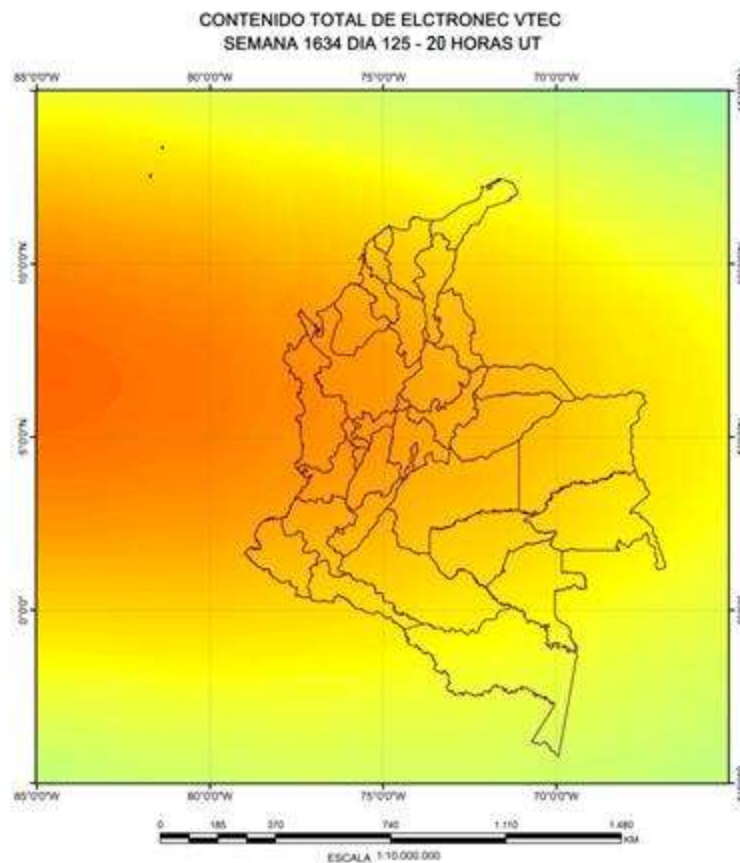
SPLINE



COMPARACIÓN DE VALORES VTEC DEL MODELO DE ESTUDIO CON LPIM – DÍA ALTA ACTIVIDAD

SEMANA 1634 DÍA 125 – 20 HORAS UT

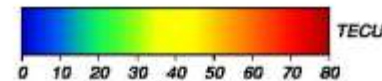
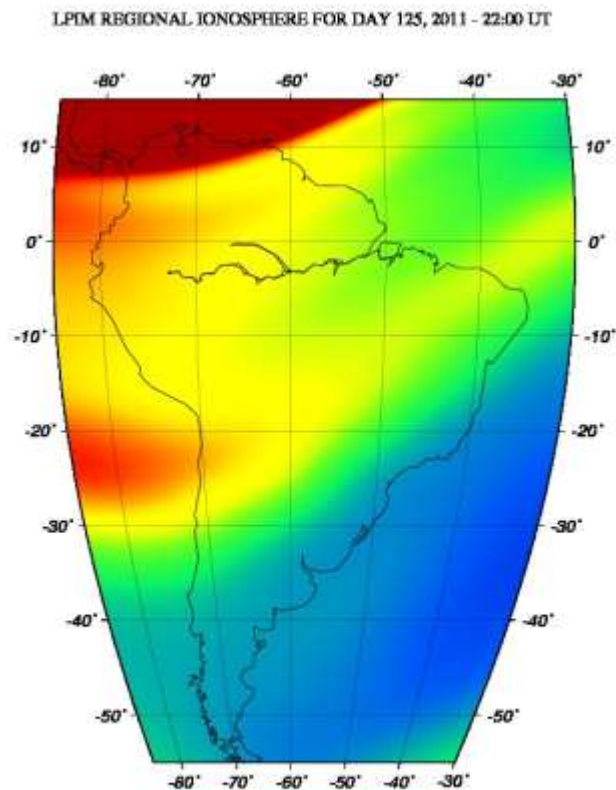
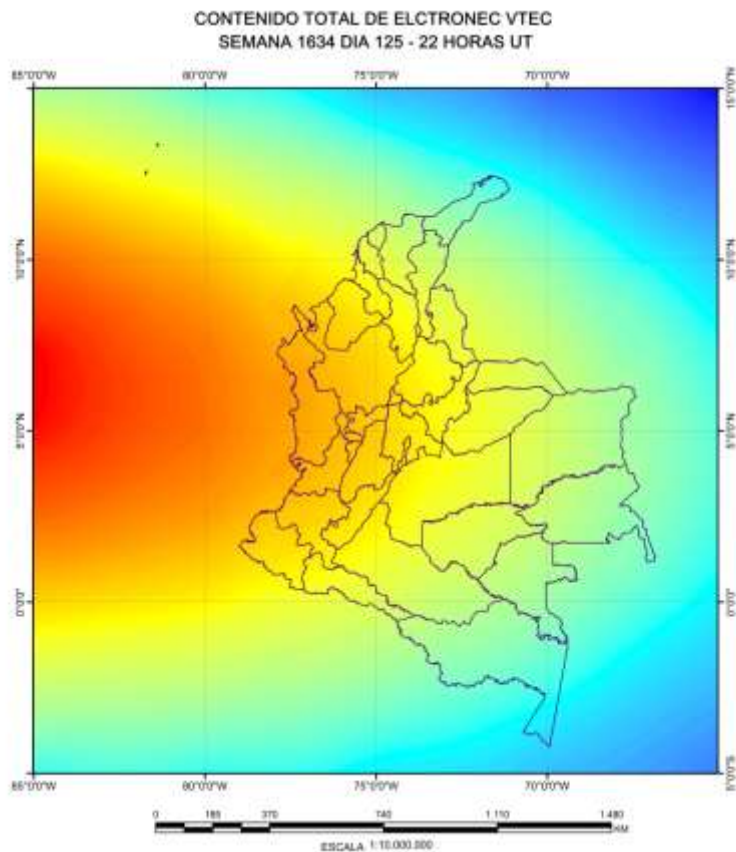
Fuente: <http://cplat.fcaglp.unlp.edu.ar/products/iono/graphics/>



COMPARACIÓN DE VALORES VTEC DEL MODELO DE ESTUDIO CON LPIM – DÍA ALTA ACTIVIDAD

SEMANA 1634 DÍA 125 – 22 HORAS UT

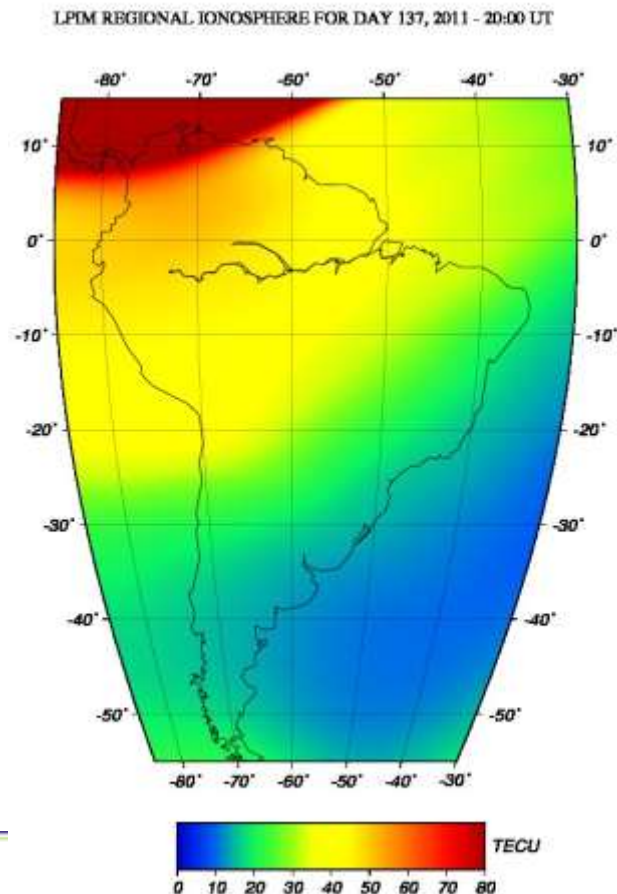
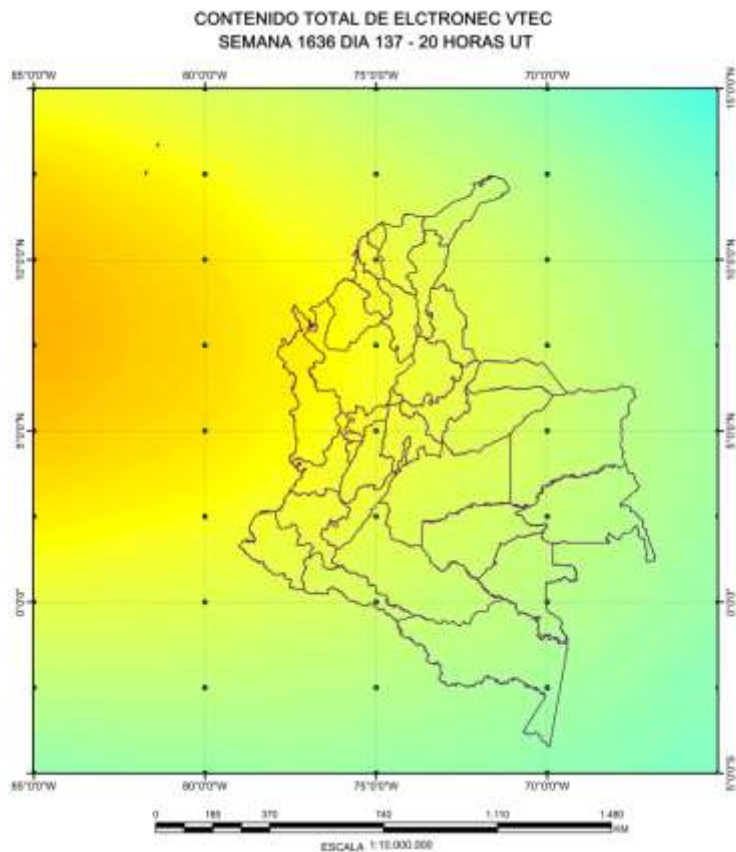
Fuente: <http://cplat.fcaglp.unlp.edu.ar/products/iono/graphics/>



COMPARACIÓN DE VALORES VTEC DEL MODELO DE ESTUDIO CON LPIM – DÍA MEDIANA ACTIVIDAD

SEMANA 1636 DÍA 137 – 20 HORAS UT

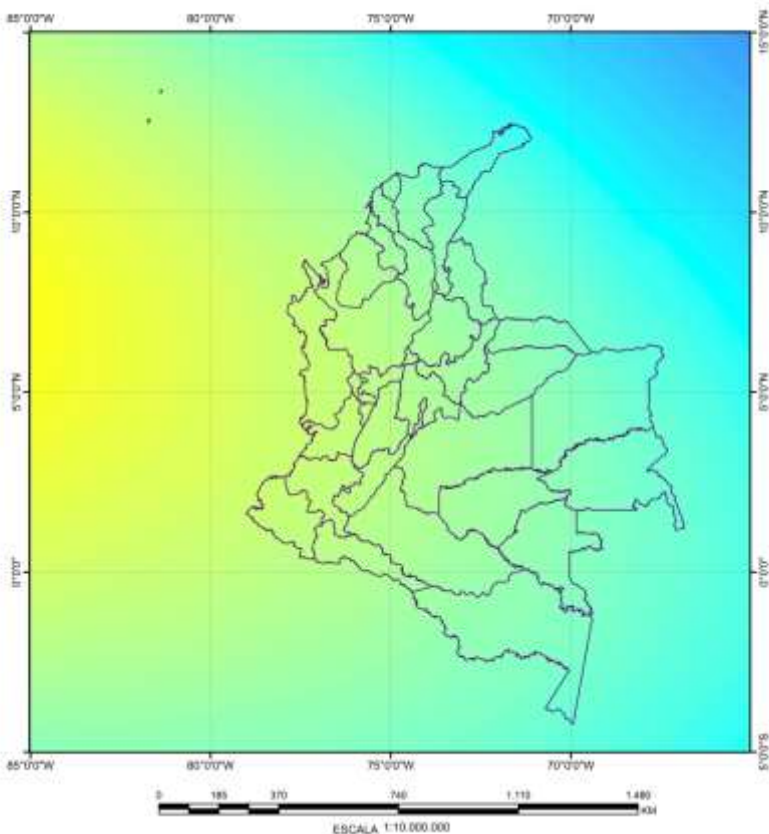
Fuente: <http://cplat.fcaglp.unlp.edu.ar/products/iono/graphics/>



COMPARACIÓN DE VALORES VTEC DEL MODELO DE ESTUDIO CON LPIM – DÍA MEDIANA ACTIVIDAD

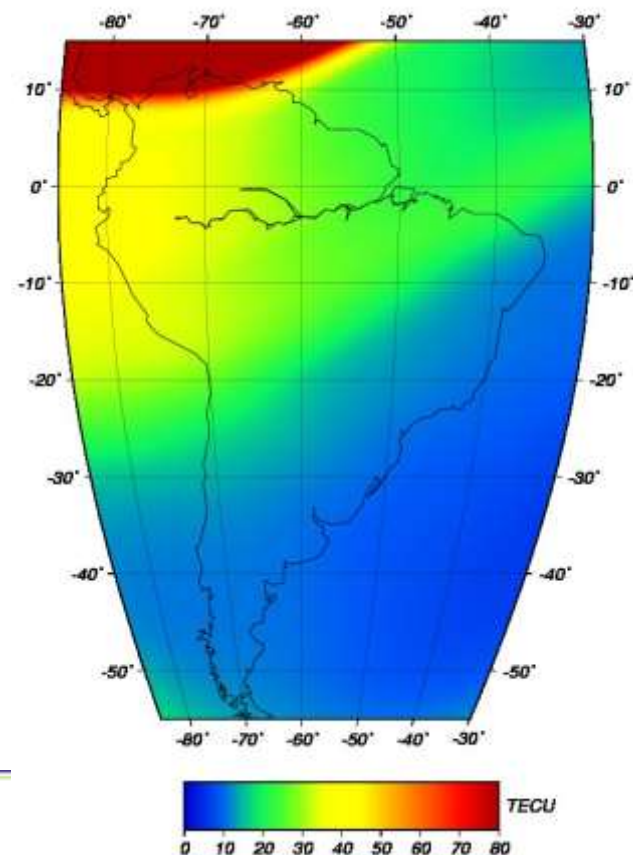
SEMANA 1636 DÍA 137 – 22 HORAS UT

CONTENIDO TOTAL DE ELCTRONEC VTEC
SEMANA 1636 DIA 137 - 22 HORAS UT



Fuente: <http://cplat.fcaglp.unlp.edu.ar/products/iono/graphics/>

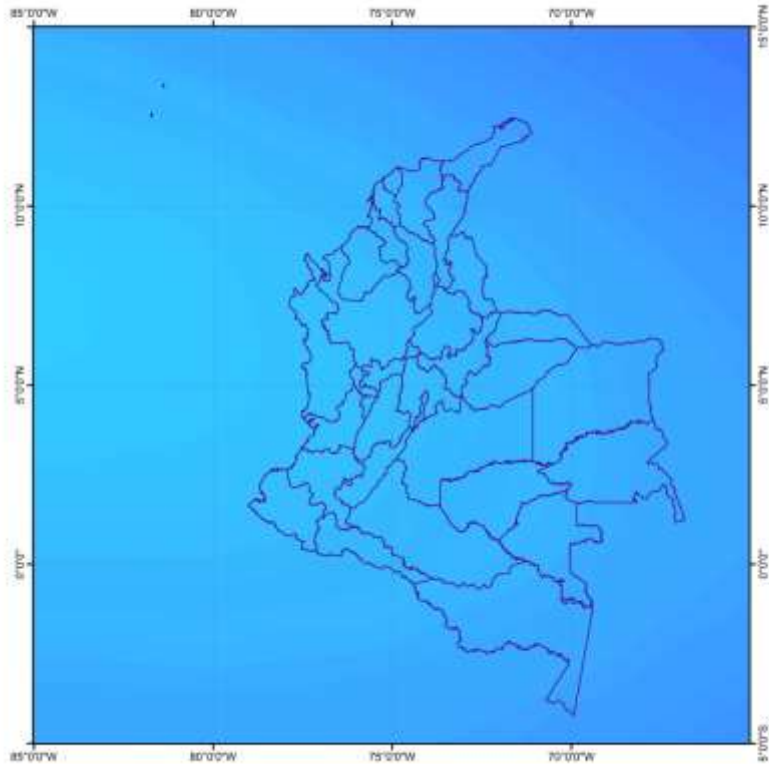
LPIM REGIONAL IONOSPHERE FOR DAY 137, 2011 - 22:00 UT



COMPARACIÓN DE VALORES VTEC DEL MODELO DE ESTUDIO CON LPIM – DÍA BAJA ACTIVIDAD

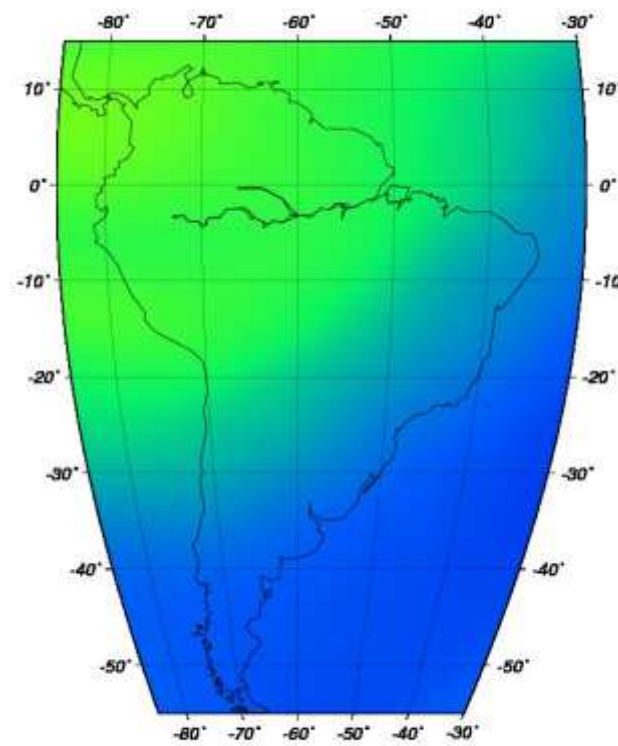
SEMANA 1587 DÍA 162 – 20 HORAS UT

CONTENIDO TOTAL DE ELTRONEC VTEC
SEMANA 1587 DIA 162 - 20 HORAS UT



Fuente: <http://cplat.fcaglp.unlp.edu.ar/products/iono/graphics/>

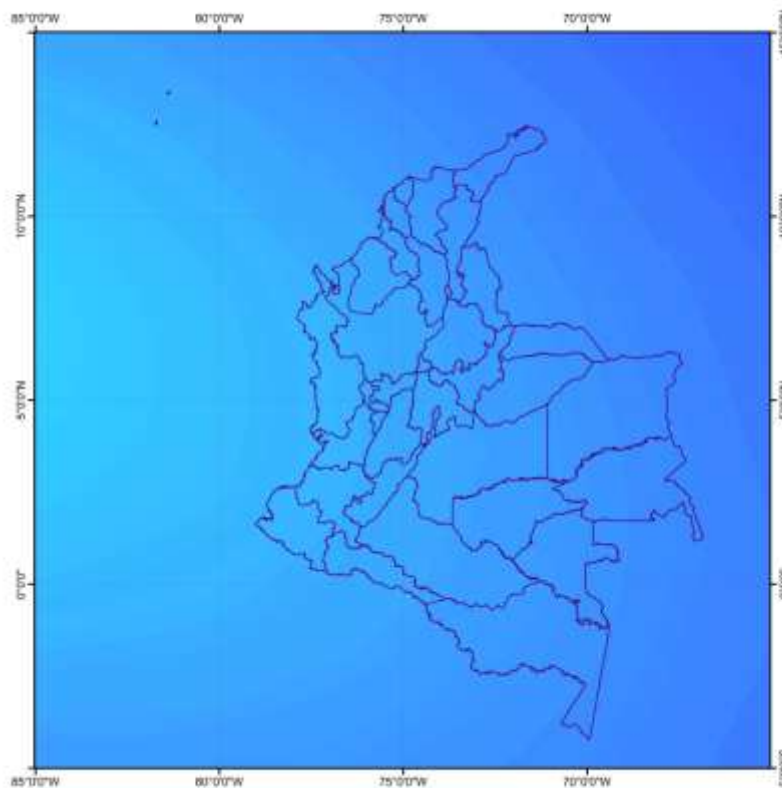
LPIM REGIONAL IONOSPHERE FOR DAY 162, 2010 - 20:00 UT



COMPARACIÓN DE VALORES VTEC DEL MODELO DE ESTUDIO CON LPIM – DÍA BAJA ACTIVIDAD

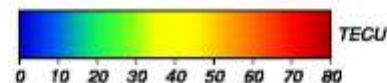
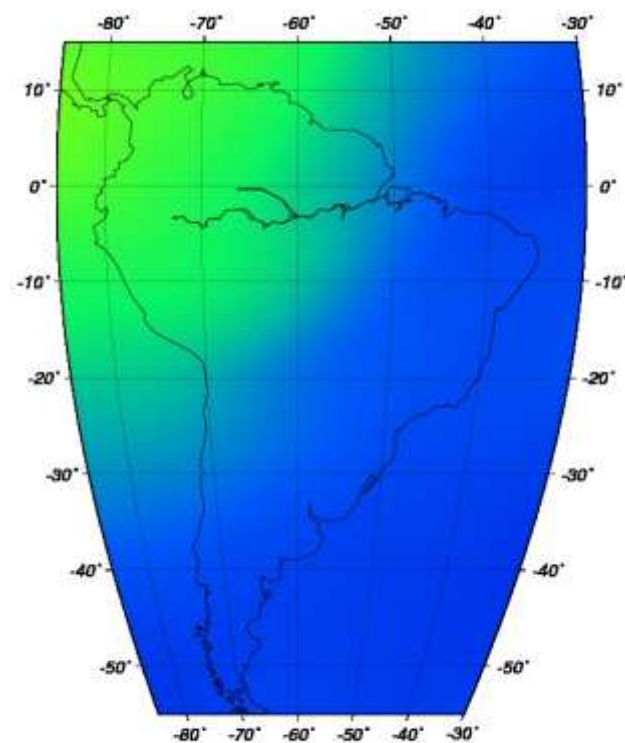
SEMANA 1587 DÍA 162 – 22 HORAS UT

CONTENIDO TOTAL DE ELCTRONEC VTEC
SEMANA 1587 DIA 162 - 22 HORAS UT

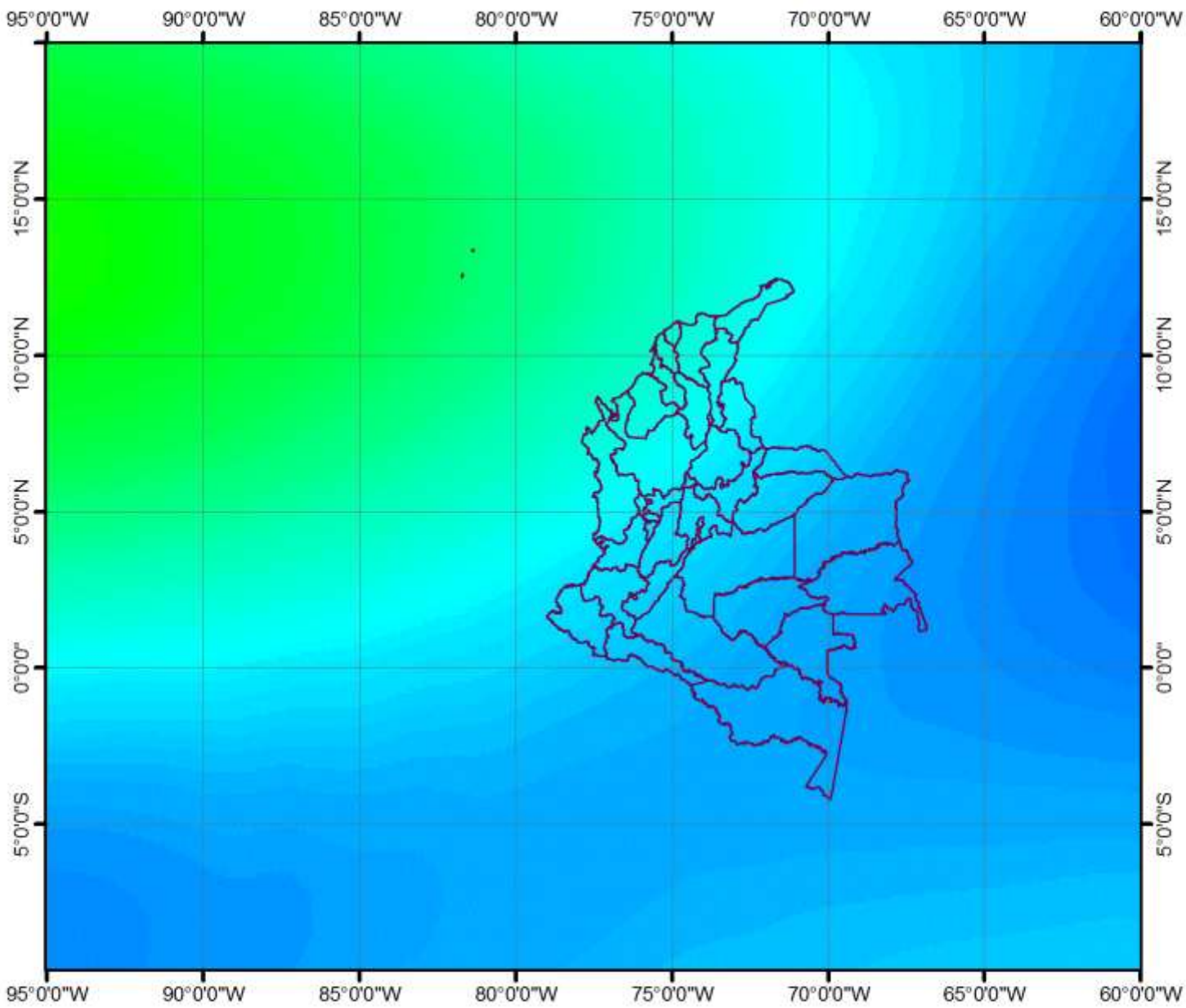


Fuente: <http://cplat.fcaglp.unlp.edu.ar/products/iono/graphics/>

LPIM REGIONAL IONOSPHERE FOR DAY 162, 2010 - 22:00 UT



CONTENIDO TOTAL VERTICAL DE ELECTRONES VTEC DIA 115 - 24 HORAS UT

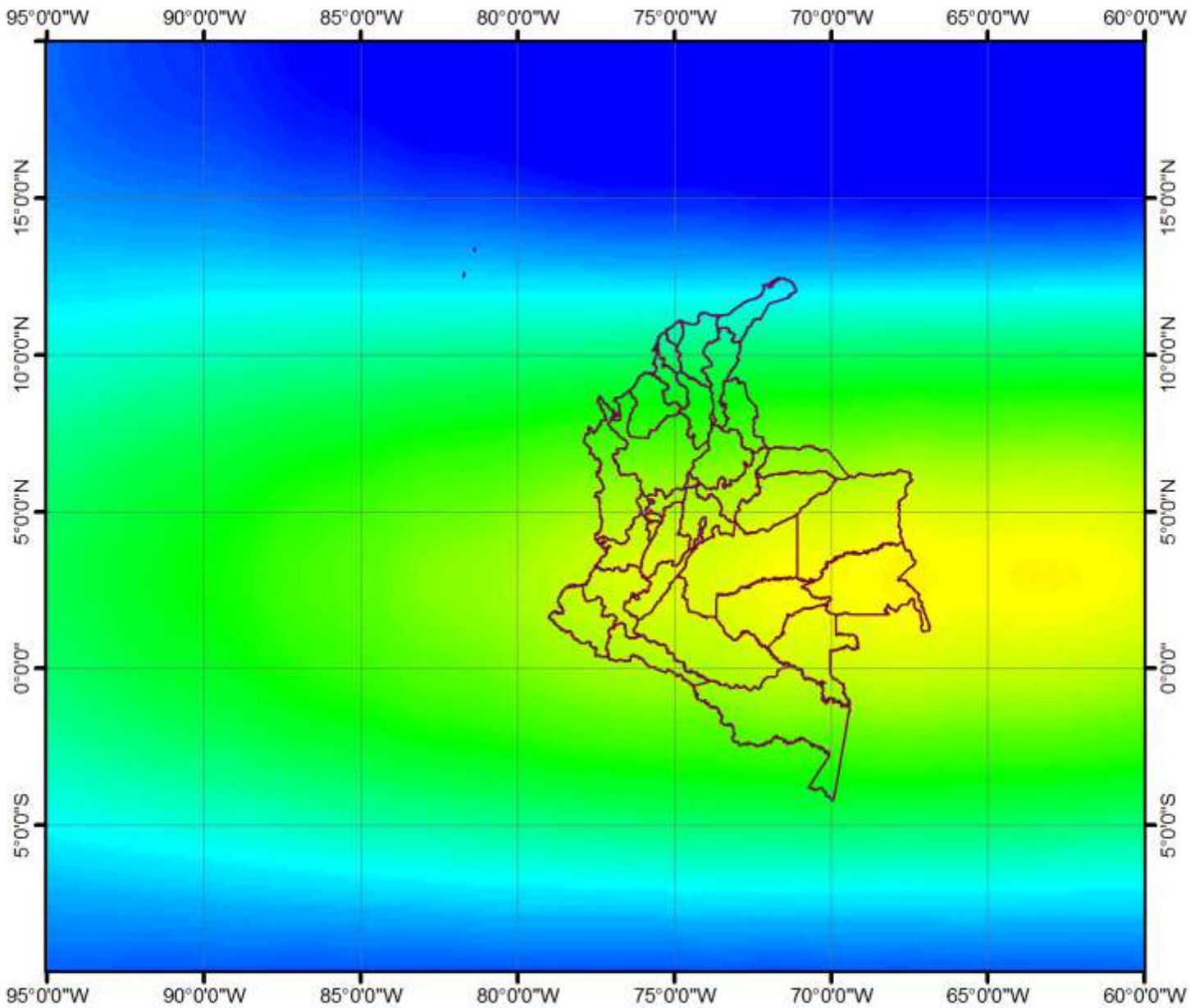


DÍA 115

24 HORAS UT

0 5 10 15 20 25 30 TECU

CONTENIDO TOTAL VERTICAL DE ELECTRONES VTEC DIA 96 - 24 HORAS UT



DÍA 96

24 HORAS UT



MODELAMIENTO TROPOSFÉRICO EN COLOMBIA

Retraso troposférico

$$\Delta \varrho = \int (n - 1) ds = 10^{-6} \int N^{trop} ds ,$$

Refractividad

$$N^{trop} = N_d^{trop} + N_w^{trop} ,$$

$$\Delta \varrho = \Delta \varrho_d + \Delta \varrho_w = 10^{-6} \int N_d^{trop} ds + 10^{-6} \int N_w^{trop} ds .$$

Componentes de la Refractividad

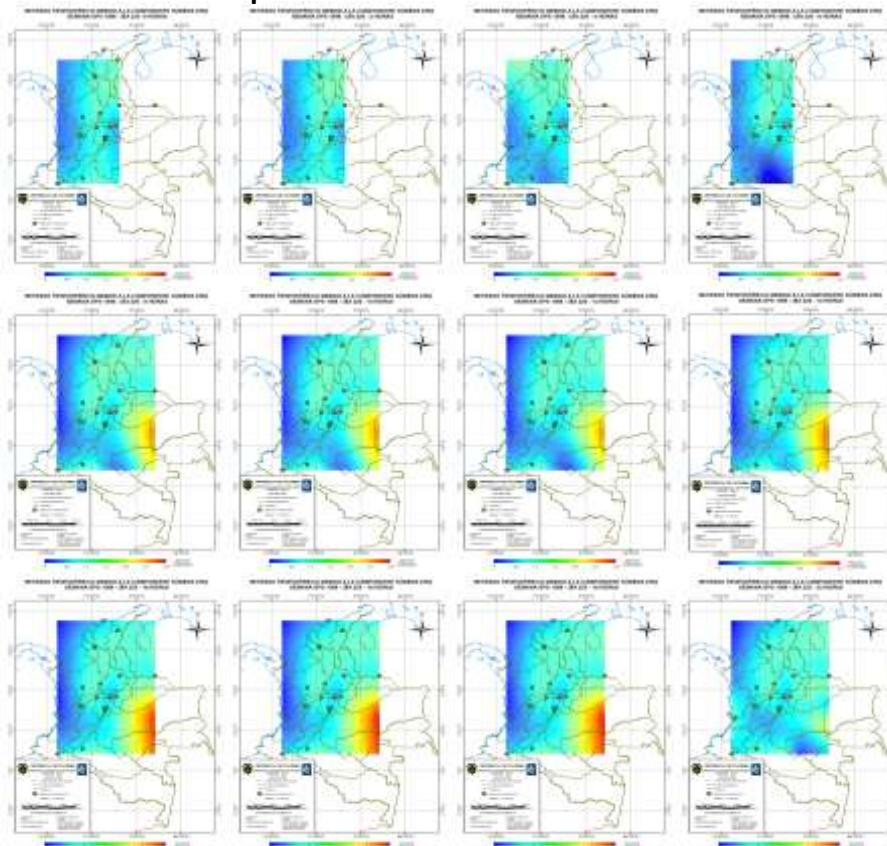
$$N_{d,0}^{trop} = 77.64 \frac{p}{T} \left[\frac{\text{K}}{\text{mb}} \right] \quad \text{and} \quad N_{w,0}^{trop} = -12.96 \frac{e}{T} \left[\frac{\text{K}}{\text{mb}} \right] + 3.718 \cdot 10^5 \frac{e}{T^2} \left[\frac{\text{K}^2}{\text{mb}} \right] \quad [\text{Essen and Froome, 1951}]$$

$$\Delta \varrho = f(z) \Delta \varrho^0$$

$$\Delta \varrho = f_d(z) \Delta \varrho_d^0 + f_w(z) \Delta \varrho_w^0$$

MODELAMIENTO TROPOSFÉRICO EN COLOMBIA

Componente Húmeda ZWD



Modelo de refracción troposférica de Saastamoinen, 1973

$$\Delta \varrho = \frac{0.002277}{\cos z} \left[p + \left(\frac{1255}{T} + 0.05 \right) e - \tan^2 z \right]$$

Modelo atmosférico estándar, Berg 1948

$$p = p_r \cdot (1 - 0.0000226 \cdot (h - h_r))^{5.225}$$

$$T = T_r - 0.0065 \cdot (h - h_r)$$

$$H = H_r \cdot e^{-0.0006396 \cdot (h - h_r)}$$

$$ZTD = ZHD + ZWD$$

$$ZHD = (2.279 \pm 0.0024) \frac{P_s}{f(\varphi, h)}$$

$$IWV \times \rho H_2O = k \times ZWD$$

$$\Delta \varrho_k^i(t, A, z) = \underbrace{\Delta \varrho_{apr,k}(z_k^i)}_{a \text{ priori model}} + \underbrace{\Delta^h \varrho_k(t) f(z_k^i)}_{ZTD} + \underbrace{\Delta^n \varrho_k(t) \frac{\partial f}{\partial z} \cos A_k^i + \Delta^e \varrho_k(t) \frac{\partial f}{\partial z} \sin A_k^i}_{horizontal \ gradients}$$

CONCLUSIONES Y ACTIVIDADES FUTURAS

1. Finalizar el diseño de la base de datos para el almacenamiento y consulta de la información concerniente a VTEC y ZWD diario.
2. Diseñar y implementar un servicio web de consulta y descarga de información de los mapas de VTEC y ZWD para Colombia.
3. Gestionar la adquisición de datos atmosféricos confiables para la generación de mapas de vapor de agua.
4. Desarrollar algoritmos computacionales eficiente para la determinación de VTEC y ZWD y su posterior salida grafica mediante la generación de mapas diarios
5. Propender por la continuidad de este proyecto a futuro dentro del IGAC, mediante la gestión de recursos económicos y logísticos.

**Gracias por su
atención**

FIN