

El Agua en el Sector Agropecuario en Colombia

CATEDRA JULIO GARAVITO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
4 de Mayo de 2016

Ing. César Augusto Terán Chaves

Ph.D. Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

M.Sc. Financieras y de Sistemas

Especialista en Desarrollo de Software

Microsoft Certified Solution Developer

Ing. Agrícola



SC-CER228920

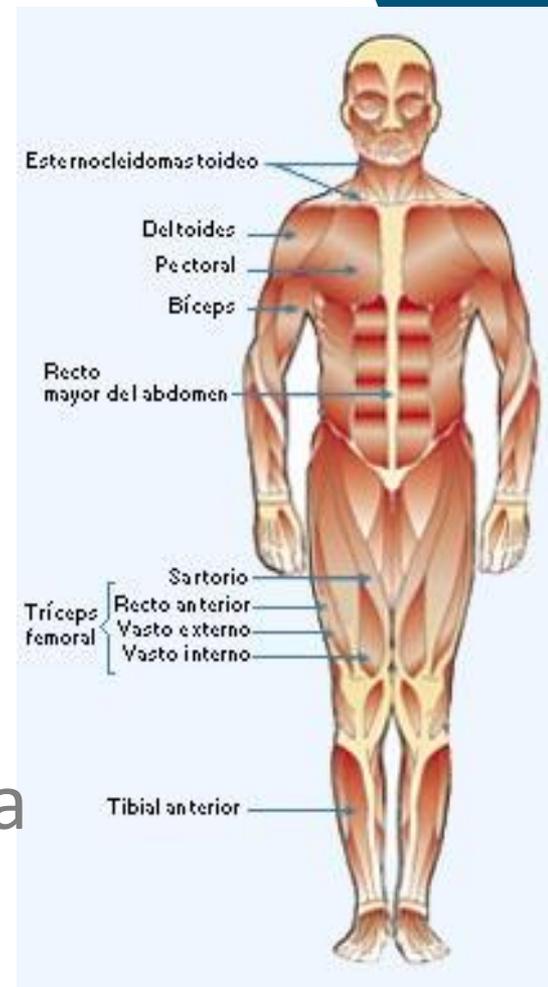


Contenido

- **Introducción**
- El Agua en la Tierra
- El Agua en el Sector Agropecuario
- El Agua en Colombia
- El Agua en el Sector Agropecuario Colombiano
- Importancia del agua en el Agro
- El desarrollo agropecuario a partir del Agua
- Investigaciones desarrolladas (Estudios de Caso)
- Que esperar ? El Futuro del Agua en el Sector Agrícola
- Cómo enfrentar los fenómenos de Variabilidad y Cambio Climático en el Sector Agrícola.
- **Conclusiones y Recomendaciones**

Introducción

- El Agua Fuente de Vida !!
- El cuerpo humano está compuesto de entre un 55 % y un 78 % de agua, dependiendo de sus medidas y complexión. Para evitar desordenes, el cuerpo necesita alrededor de 2,5 litros diarios de agua; la cantidad exacta variará en función del nivel de actividad, la temperatura, la humedad y otros factores.



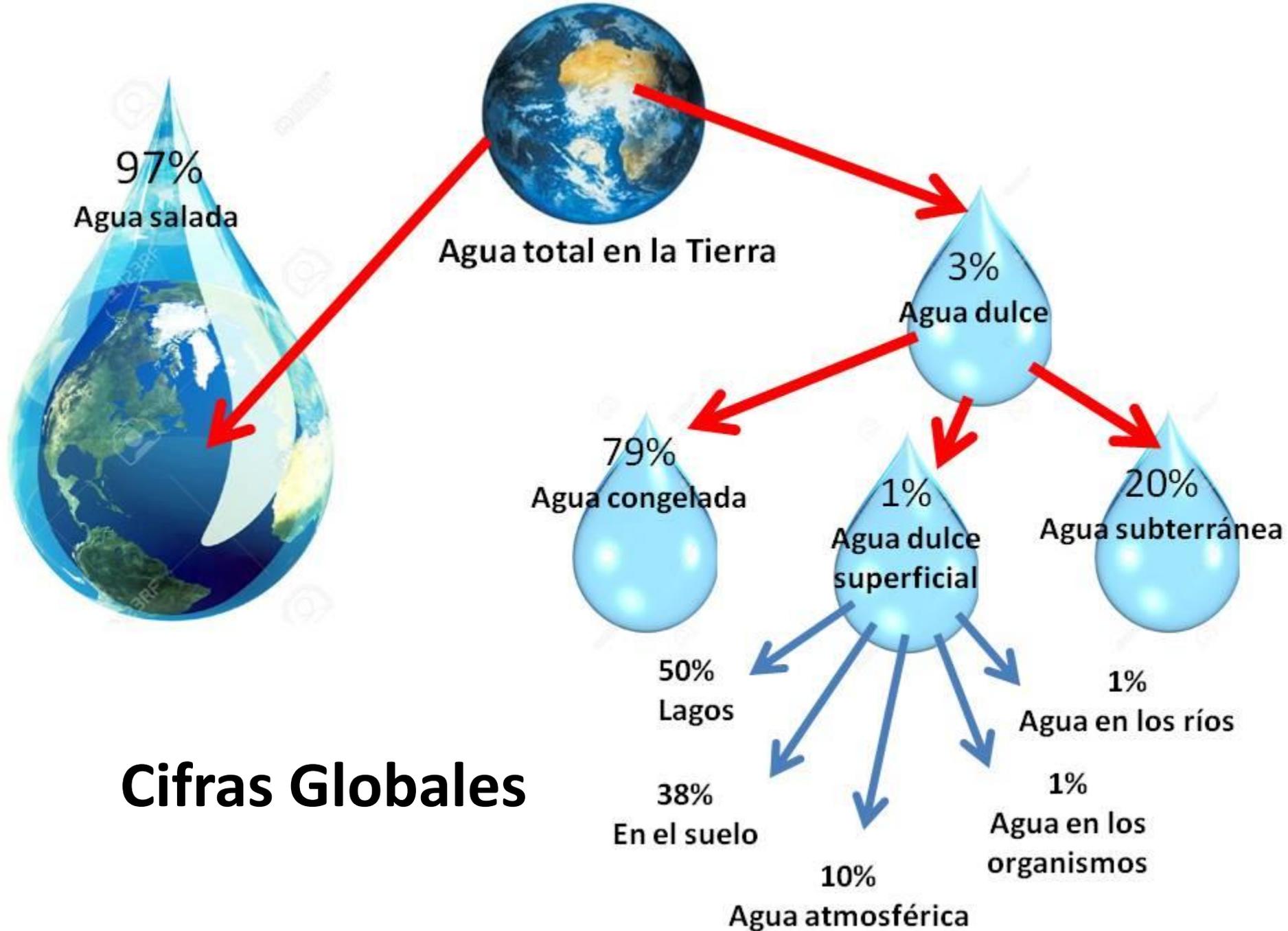
El Agua en la Tierra



El Agua en la Tierra



| Distribución del agua en la Tierra | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| Situación del agua | Volumen en km ³ | | Porcentaje | |
| | Agua dulce | Agua salada | de agua dulce | de agua total |
| Océanos y mares | - | 1.338.000.000 | - | 96,5 |
| Casquetes y glaciares polares | 24.064.000 | - | 68,7 | 1,74 |
| Agua subterránea salada | - | 12.870.000 | - | 0,94 |
| Agua subterránea dulce | 10.530.000 | - | 30,1 | 0,76 |
| Glaciares continentales y Permafrost | 300.000 | - | 0,86 | 0,022 |
| Lagos de agua dulce | 91.000 | - | 0,26 | 0,007 |
| Lagos de agua salada | - | 85.400 | - | 0,006 |
| Humedad del suelo | 16.500 | - | 0,05 | 0,001 |
| Atmósfera | 12.900 | - | 0,04 | 0,001 |
| Embalses | 11.470 | - | 0,03 | 0,0008 |
| Ríos | 2.120 | - | 0,006 | 0,0002 |
| Agua biológica | 1.120 | - | 0,003 | 0,0001 |
| Total agua dulce | 35.029.110 | | 100 | - |
| Total agua en la tierra | | 1.386.000.000 | - | 100 |

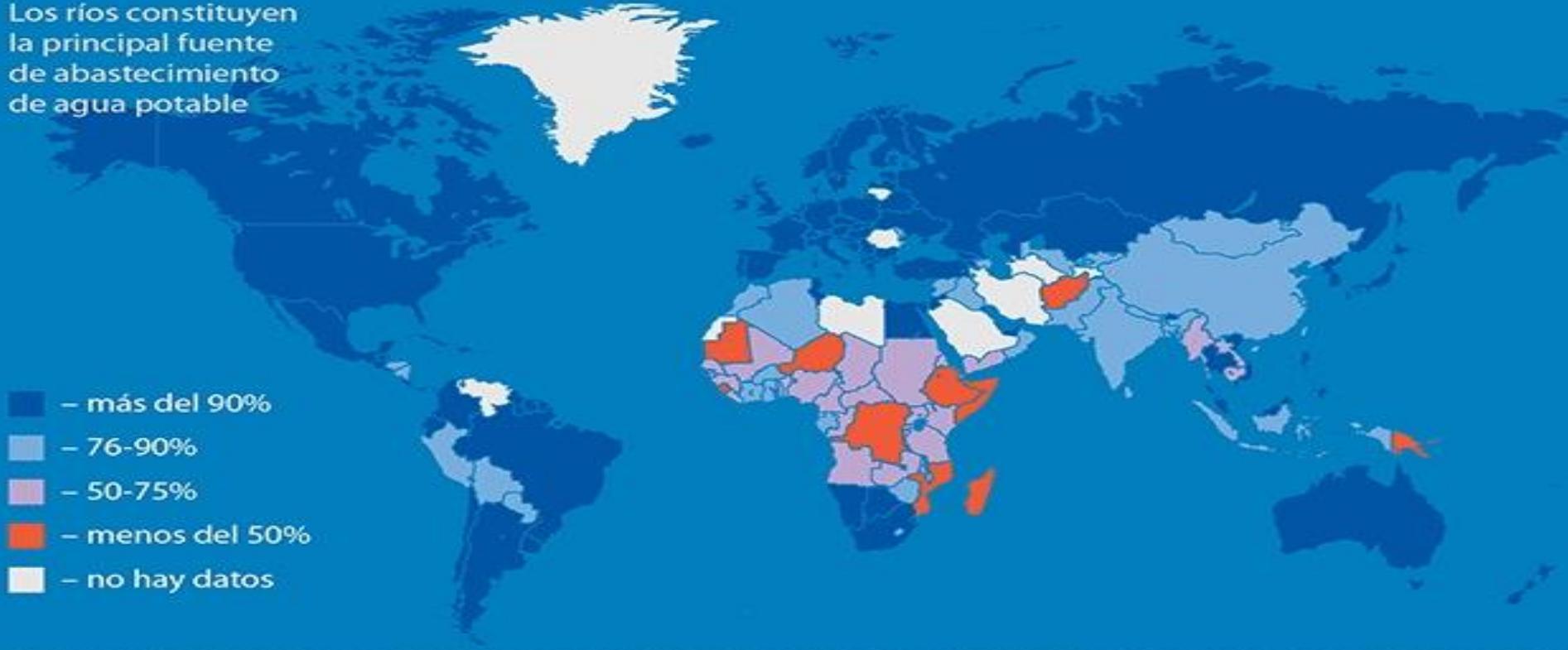


Problemas de escasez de agua potable

Escasez de agua Potable

Porcentaje de población que consume agua de buena calidad

Los ríos constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua potable



- más del 90%
- 76-90%
- 50-75%
- menos del 50%
- no hay datos

Donde viven las personas con mayores carencias de agua potable

(millones de personas)



Países con mayores déficit hídricos

WATER STRESS BY COUNTRY

ratio of withdrawals to supply

- Low stress (< 10%)
- Low to medium stress (10-20%)
- Medium to high stress (20-40%)
- High stress (40-80%)
- Extremely high stress (> 80%)

This map shows the average exposure of water users in each country to water stress, the ratio of total withdrawals to total renewable supply in a given area. A higher percentage means more water users are competing for limited supplies. Source: WRI Aqueduct, Gassert et al. 2013

El consumo es proporcional a la riqueza

Correlación entre Consumo de Agua y Riqueza de un País.

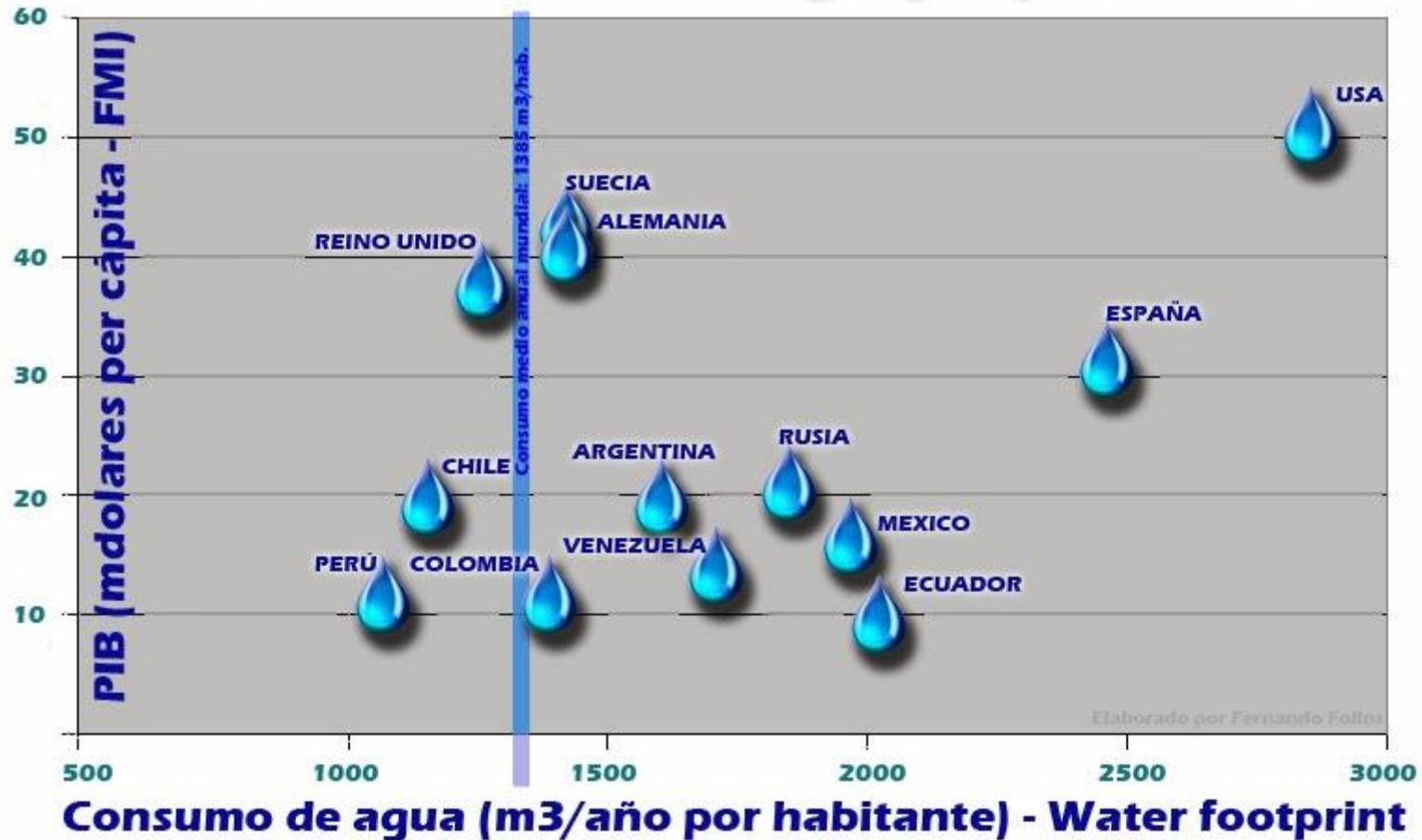


Table 1.6. **Water prices in selected major cities, 2013**

Total annual charges

| City | USD/m ³ | City | USD/m ³ | City | USD/m ³ | | | |
|---------|--------------------|------|--------------------|------------------|--------------------|-------------------|----------------|------|
| Austria | Graz | 4.59 | Hungary | Budapest | 3.21 | Norway | Bergen | 4.03 |
| | Innsbruck | 5.00 | | Debrecen | 2.43 | | Oslo | 4.32 |
| | Linz | 3.18 | | Miskolc | 2.59 | | Trondheim | 5.00 |
| | Salzburg | 6.15 | | Pécs | 3.48 | Poland | Bydgoszcz | 3.64 |
| | Vienna | 5.20 | | Kaposvár | 2.05 | | Wroclaw | 2.77 |
| Belgium | Louvain | 5.52 | Israel | Jerusalem | 2.76 | | Radom | 2.75 |
| | Antwerp | 4.29 | Italy | Bologna | 2.40 | | Tarnow | 2.86 |
| | Brussels | 4.95 | | Milan | 0.83 | Portugal | Lisbon | 2.57 |
| | Liège | 6.24 | | Naples | 1.78 | | Porto | 2.39 |
| | Kortrijk | 5.62 | | Rome | 1.78 | | Braga | 2.38 |
| | Genk | 5.11 | | Turin | 2.25 | | Coimbra | 2.69 |
| | Charleroi | 5.95 | Korea | Seoul | 0.53 | | Faro | 2.32 |
| Canada | Calgary | 3.98 | | Busan | 0.65 | Spain | Barcelona | 3.40 |
| | Winnipeg | 3.76 | | Daegu | 0.55 | | Bilbao | 2.16 |
| | Regina | 4.52 | | Incheon | 0.61 | | Madrid | 2.17 |
| | Richmond | 5.04 | | Gwangju | 0.50 | | Sevilla | 2.99 |
| | Durham | 3.27 | | Daejeon | 0.49 | | Valencia | 2.69 |
| Denmark | Aalborg | 9.48 | | Ulsan | 0.83 | Sweden | Stockholm | 2.52 |
| | Aarhus | 9.80 | | Gyeonggi | 0.59 | | Göteborg | 4.59 |
| | Copenhagen | 7.63 | Japan | Nagoya | 1.67 | | Malmö | 3.22 |
| | Esbjerg | 8.52 | | Osaka | 1.53 | | Uppsala | 4.55 |
| | Odense | 9.37 | | Hiroshima | 1.90 | | Linköping | 4.64 |
| Finland | Espoo | 4.63 | | Fukuoka | 2.24 | Switzerland | Geneva | 4.52 |
| | Helsinki | 4.63 | | Sapporo | 2.27 | | Zürich | 4.65 |
| | Oulu | 5.21 | | Sendai | 2.79 | | Lausanne | 4.36 |
| | Tampere | 4.32 | | Tokyo | 2.18 | | Basel | 4.57 |
| | Turku | 5.19 | | Yokohama | 2.02 | | Bern | 6.22 |
| | Vantaa | 4.63 | Mexico | San Luis Potosí | 4.25 | England and Wales | Birmingham | 5.02 |
| France | Bordeaux | 4.43 | | Guadalajara | 0.87 | | Cardiff | 5.85 |
| | Lille | 5.03 | | León, Guanajuato | 4.87 | | London | 3.98 |
| | Lyon | 4.04 | | Monterrey | 4.72 | | Manchester | 5.77 |
| | Paris | 4.16 | | Puebla | 8.62 | | Leeds | 5.18 |
| | Strasbourg | 4.19 | Netherlands | Amsterdam | 4.53 | United States | New York | 3.94 |
| | Reims | 4.32 | | Rotterdam | 4.71 | | Washington, DC | 4.18 |
| | Nancy | 4.15 | | Den Haag | 5.00 | | Los Angeles | 2.72 |
| | Le Havre | 5.83 | | Utrecht | 4.28 | | Chicago | 1.46 |
| | Marseille | 4.75 | | Eindhoven | 3.35 | | Denver | 2.64 |
| | Brest | 6.15 | | Maastricht | 4.16 | | Miami | 1.01 |

Colombia 0.88 USD/m³

Source: International Water Association (2014), International Statistics for Water Services.

El Agua en el Sector Agropecuario

- Algunas Cifras de importancia:
- El sector agropecuario es el mayor consumidor de agua (65%)
- El sector industrial consume (25%)
- El consumo doméstico, comercial, y urbano (10%)



El Agua en el Sector Agropecuario

- La productividad de las tierras de riego es aproximadamente tres veces superior a la de las de secano.
- La inversión en la mejora del riego supone una garantía frente a las variaciones pluviométricas y estabilidad de la producción agrícola.
- Entre los efectos indirectos adicionales del fomento de aguas se encuentran la mejora de la nutrición a lo largo del año, un mercado laboral rural más activo, una menor emigración y una menor presión agrícola sobre las tierras marginales.

El Agua en el Sector Agropecuario

Escasez de agua como resultado de producción de alimentos

Escasez de agua como resultado de producción de alimentos

Parte considerable del agua consumida se destina a la producción de alimentos



2-3

litros de agua consumidos por una persona al día



2000-5000

litros de agua para la producción de alimentos diarios para una persona



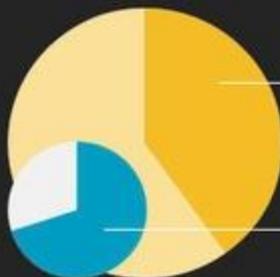
15 000

litros de agua utilizados para producir 1 kg de carne de vaca



1500

litros de agua utilizados para producir 1 kg de trigo



40%

en la producción mundial de alimentos corresponde a cultivos agrícolas

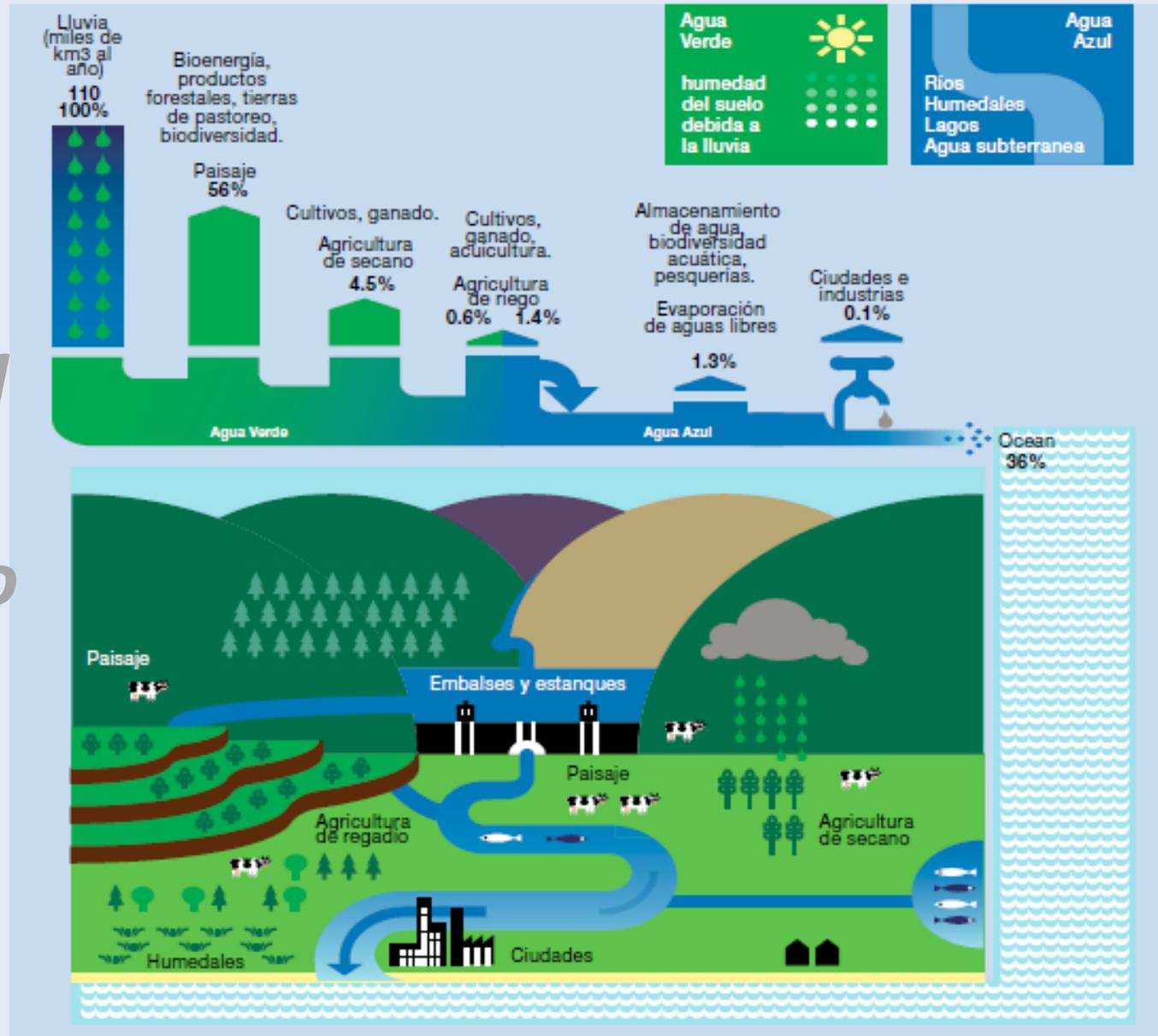
70%

del agua dulce es destinado al riego agrícola



Según pronósticos, la demanda alimentaria de la población mundial aumentará un 70% para 2050

Uso mundial del agua



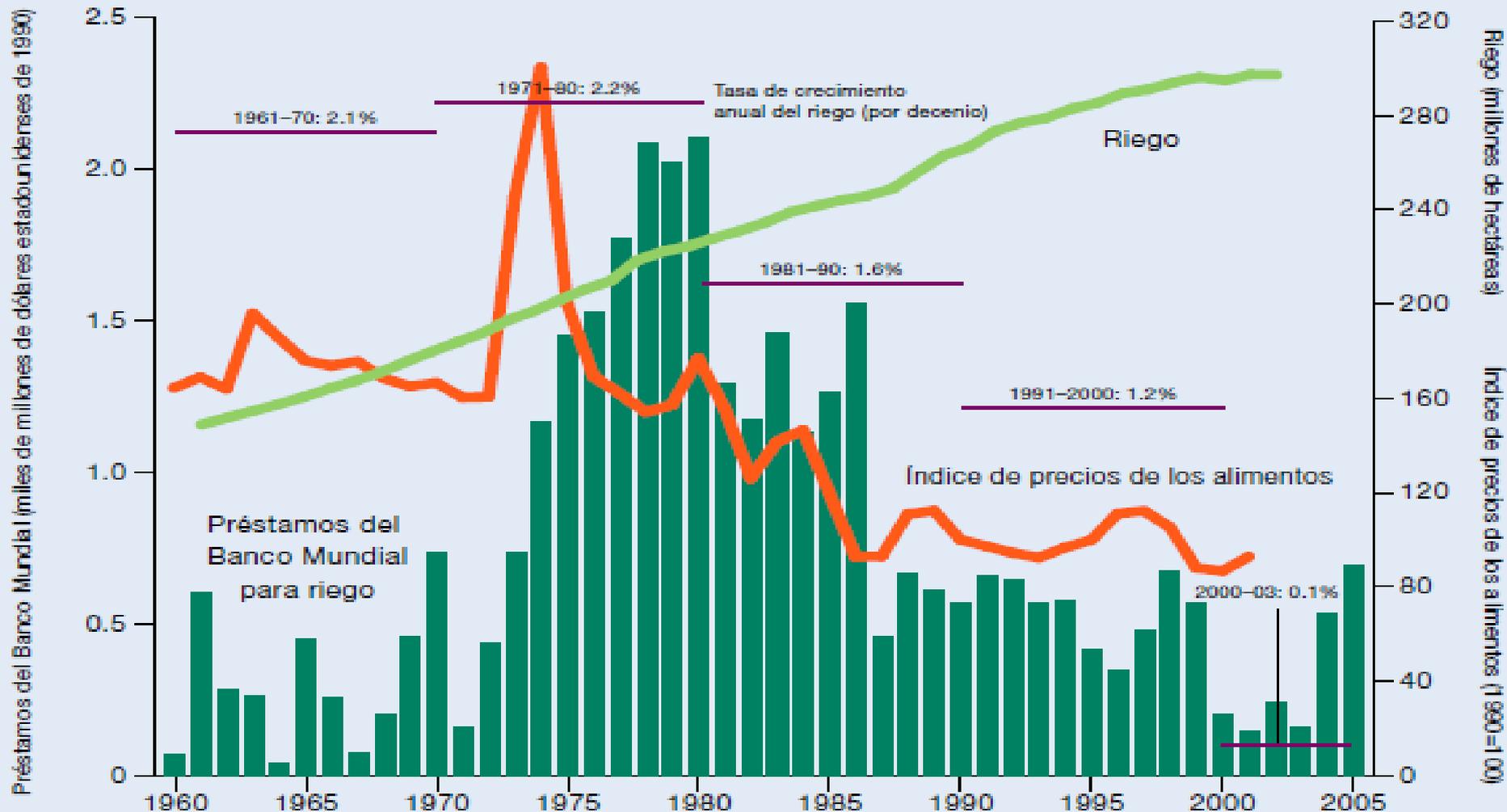
El Agua en el Sector Agropecuario

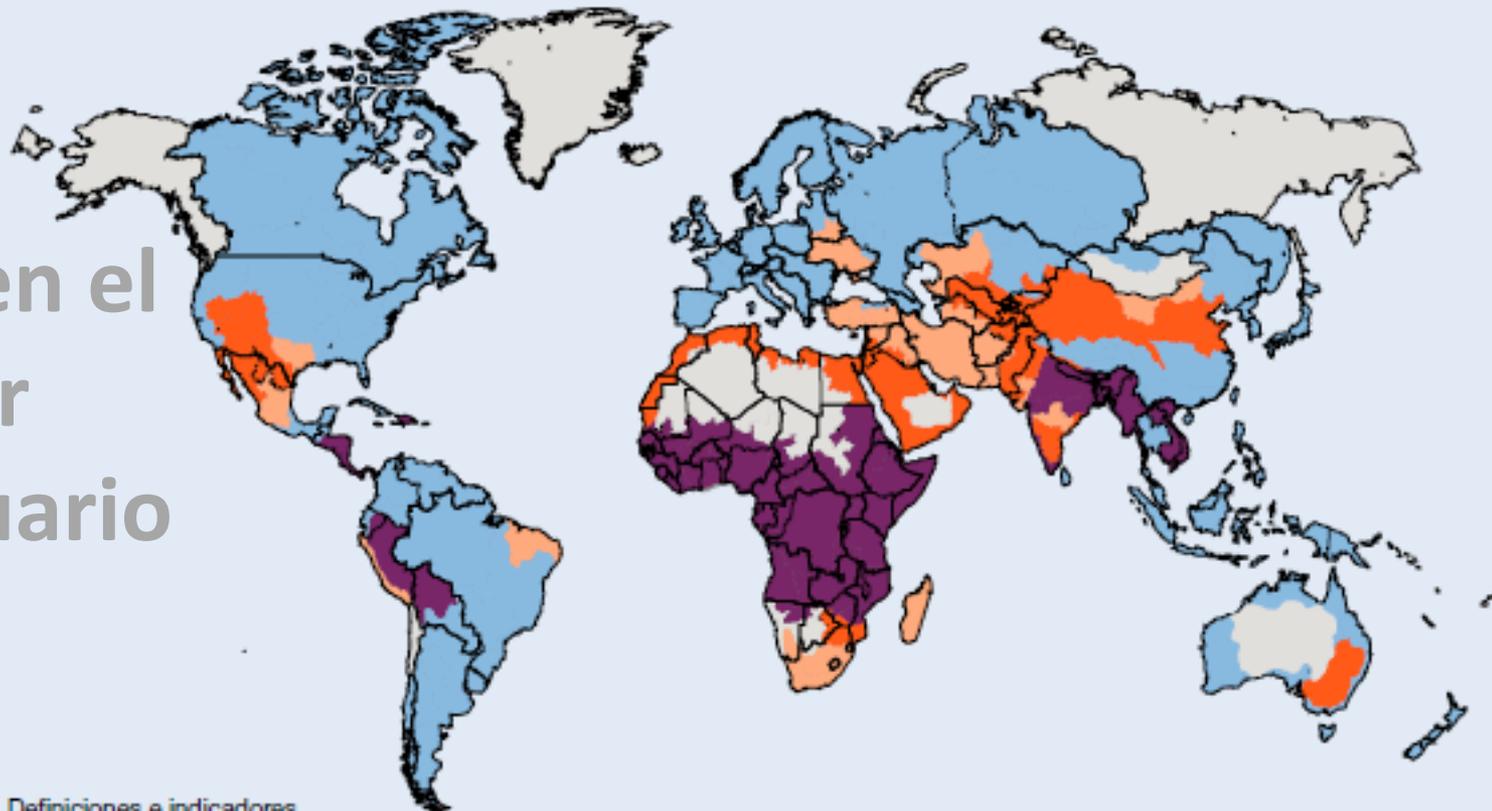
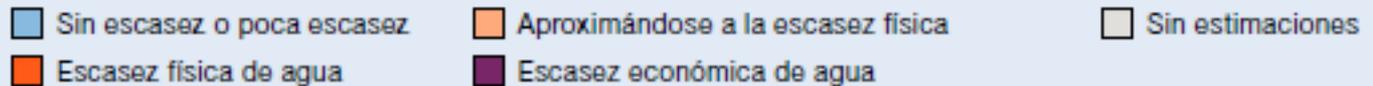
Fuente: Cálculos para la Evaluación exhaustiva de la Gestión del Agua en la Agricultura basados en datos de T. Oki y S. Kanai, 2006, "Global Hydrological Cycles and World Water Resources," Science 313 (5790): 1068-72; UNESCO-UN World Water Assessment Programme, 2006, Water: A Shared Responsibility, The United Nations World Water Development Report 2, New York, UNESCO and Berghahn Books.

El Agua en el Sector Agropecuario

Figura 1

Riego expandiéndose, precio de los alimentos cayendo





Definiciones e indicadores

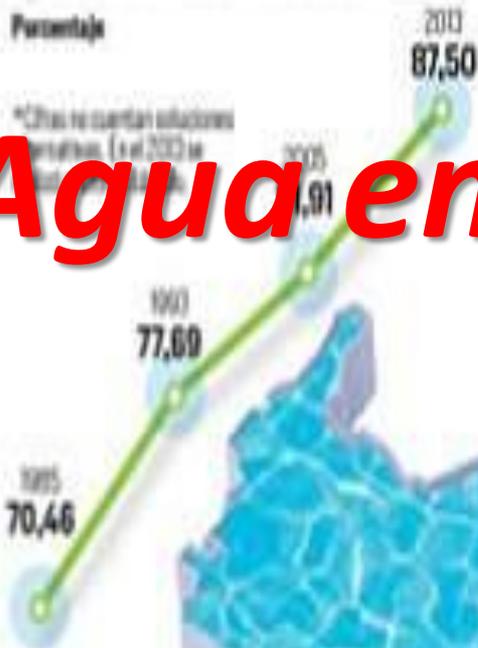
- *Con poca o sin escasez.* Recursos hídricos abundantes con relación a su uso, donde se extrae menos de un 25% de agua proveniente de ríos para uso de la población.
- *Escasez física* (el aprovechamiento de los recursos hídricos se está acercando a límites sostenibles o los ha sobrepasado). Más del 75% de los flujos de ríos se destinan a fines agrícolas, industriales y domésticos (teniendo en cuenta el reciclaje de los flujos de retorno). Tal definición – la de relacionar la disponibilidad de agua con la demanda – implica que las zonas secas no necesariamente presentan escasez de agua.
- *Aproximándose a la escasez física.* Se extrae más del 60% de los caudales de ríos. Estas cuencas experimentarán escasez física de agua en el corto plazo.
- *Escasez económica de agua* (el capital financiero, institucional y humano, limitan el acceso al agua, aunque el agua esté disponible en la naturaleza como para satisfacer las demandas de la población local). Los recursos hídricos son abundantes con respecto a su uso, y menos del 25% del agua de los ríos se extrae para uso de la población, pero existe subnutrición.

El Agua en el Sector Agropecuario

El Agua en Colombia

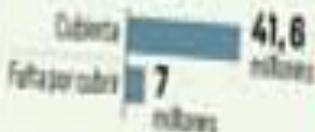
Evolución de la cobertura de acueducto en Colombia

Porcentaje



*Citas se cuentan soluciones alternativas. En el 2013 se

Población total de Colombia con servicio de agua



*Citas incluyen soluciones alternativas.

Calidad del agua en Colombia

Millones de habitantes, según la calidad de agua que consumen.



Cobertura de agua por regiones

Fuentes: Ministerio del Ambiente, Instituto Nacional de Estadística, Comisión de Regulación de Agua y Petróleo, Universidad del Valle



Países con mayores recursos hídricos

| Orden | Código FAO | País | Precipitación Promedio 1961 -1990 | Recursos Superficiales Internos | Recursos Subterráneos Internos | Recursos Totales Internos | Recursos Naturales Externos | Total Recursos Naturales | Total Recursos Reales |
|-------|------------|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | | | (Km3/año) | (Km3/año) | (Km3/año) | (Km3/año) | (Km3/año) | (Km3/año) | (Km3/año) |
| 1 | 21 | Brazil | 15236 | 5418 | 1874 | 5418 | 2815 | 8233 | 8.233 |
| 2 | 185 | Federación Rusa | 7855 | 4037 | 788 | 4313 | 195 | 4507 | 4.507 |
| 3 | 33 | Canadá | 5352 | 2840 | 370 | 2850 | 52 | 2902 | 2.902 |
| 4 | 101 | Indonesia | 5147 | 2793 | 455 | 2838 | 0 | 2838 | 2.838 |
| 5 | 41 | China | 5995 | 2712 | 829 | 2812 | 17 | 2830 | 2.830 |
| 6 | 44 | Colombia | 2975 | 2112 | 510 | 2112 | 20 | 2132 | 2.132 |
| 7 | 231 | Estados Unidos | 5800 | 1862 | 1300 | 2000 | 71 | 2071 | 2.071 |
| 8 | 170 | Perú | 1919 | 1616 | 303 | 1616 | 297 | 1913 | 1.913 |
| 9 | 100 | India | 3559 | 1222 | 419 | 1261 | 647 | 1908 | 1.897 |

Distribución Espacial de la Precipitación en Colombia

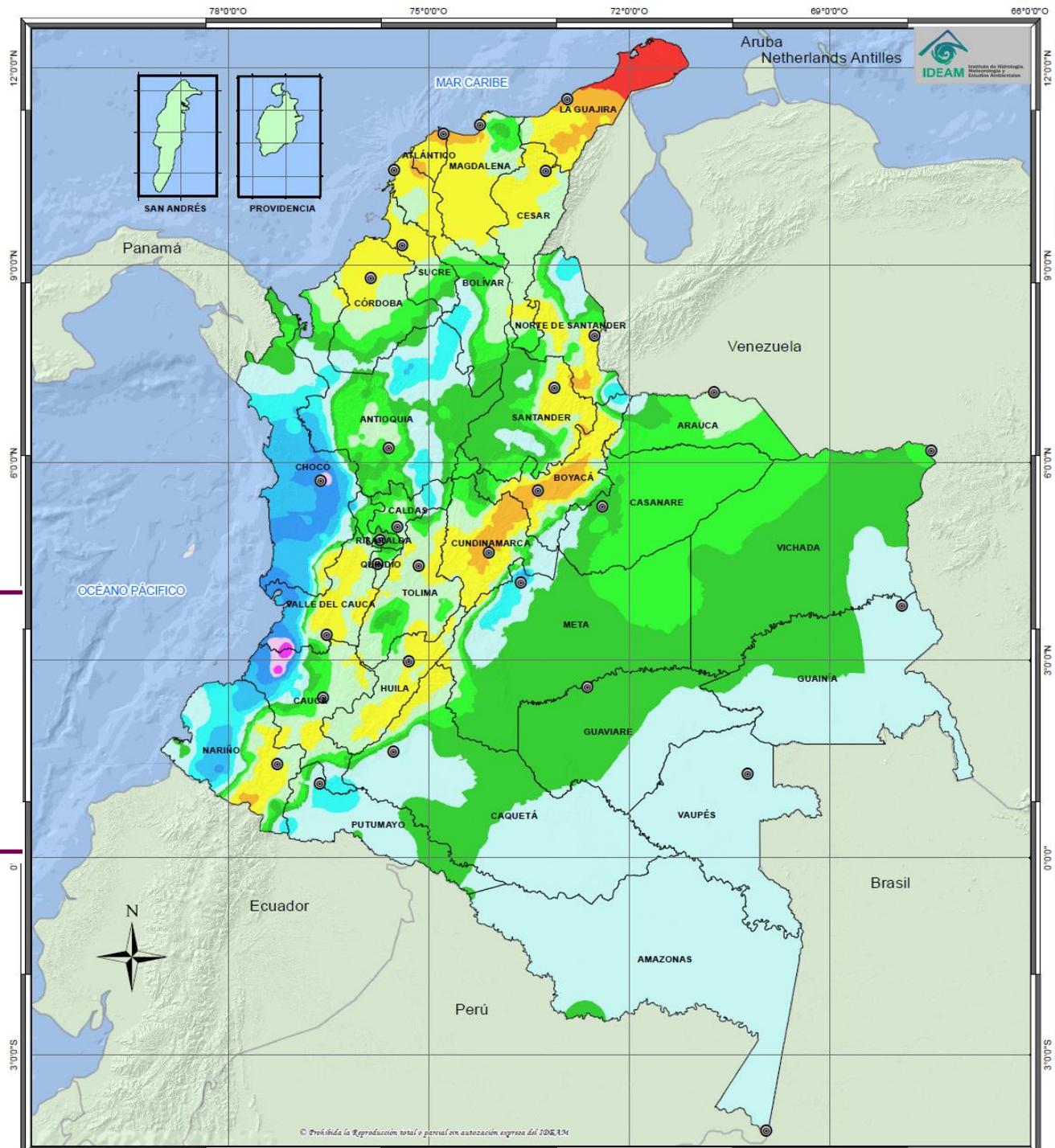

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM

PRECIPITACIÓN MEDIA TOTAL ANUAL. PROMEDIO MULTIANUAL 1981 - 2010.

REPÚBLICA DE COLOMBIA
 2014

Leyenda y Convenciones

| Leyenda (mm) | |
|--------------|--------------|
| Red | 0 - 500 |
| Naranja | 500 - 1000 |
| Amarillo | 1000 - 1500 |
| Verde claro | 1500 - 2000 |
| Verde | 2000 - 2500 |
| Verde oscuro | 2500 - 3000 |
| Cian | 3000 - 4000 |
| Azul claro | 4000 - 5000 |
| Azul | 5000 - 7000 |
| Azul oscuro | 7000 - 9000 |
| Púrpura | 9000 - 11000 |
| Magenta | > 11000 |



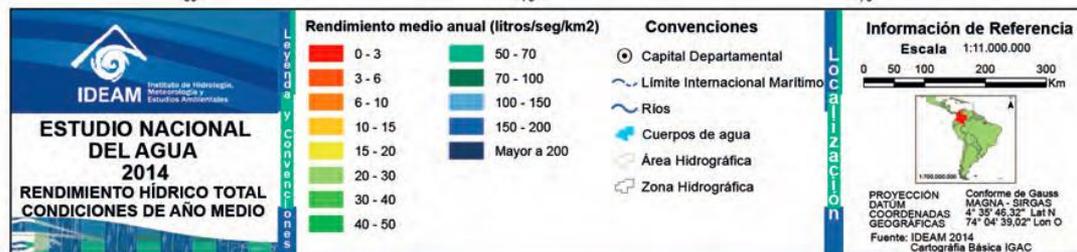
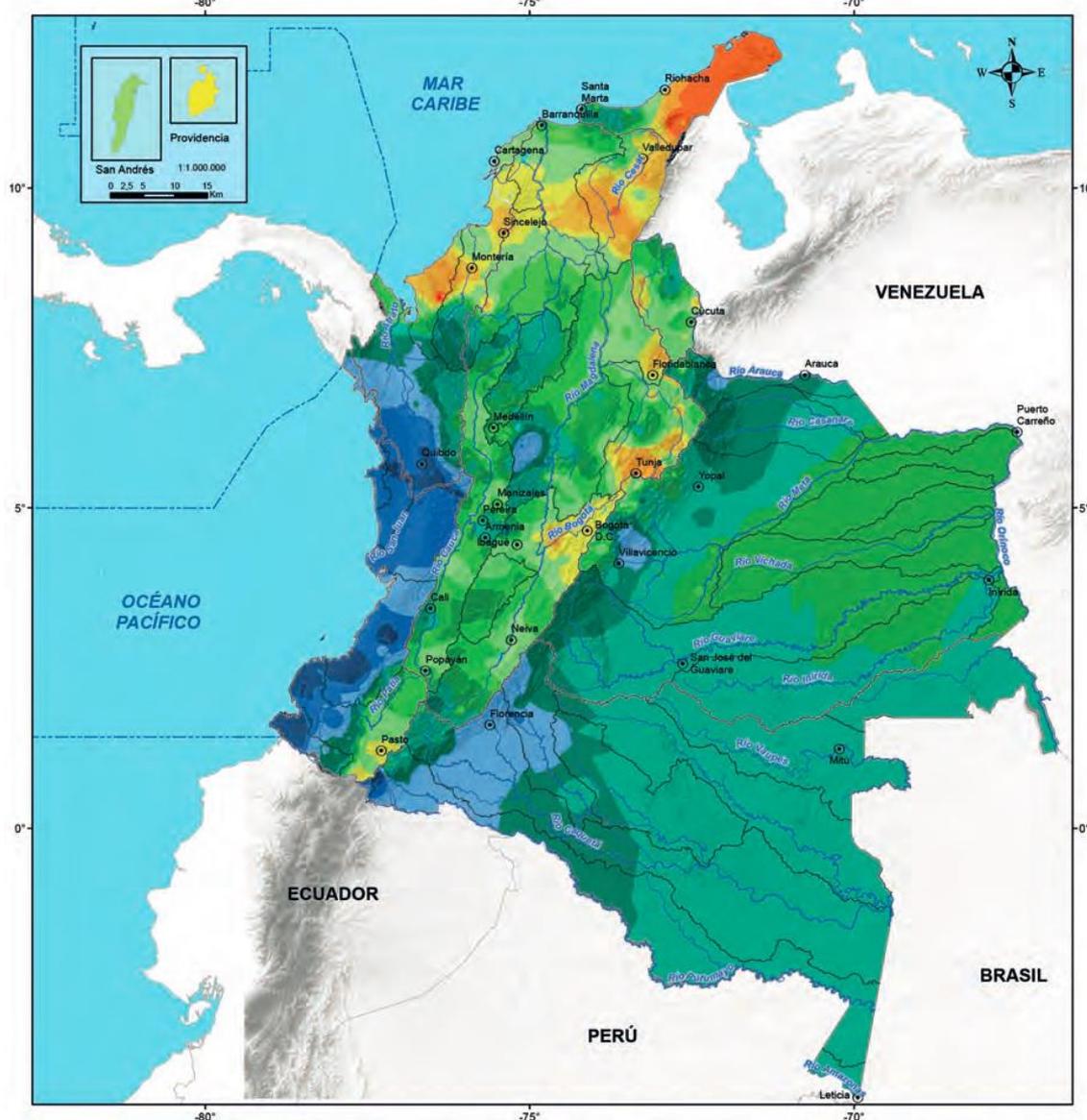
El Agua en Colombia

- El Módulo hídrico en Colombia

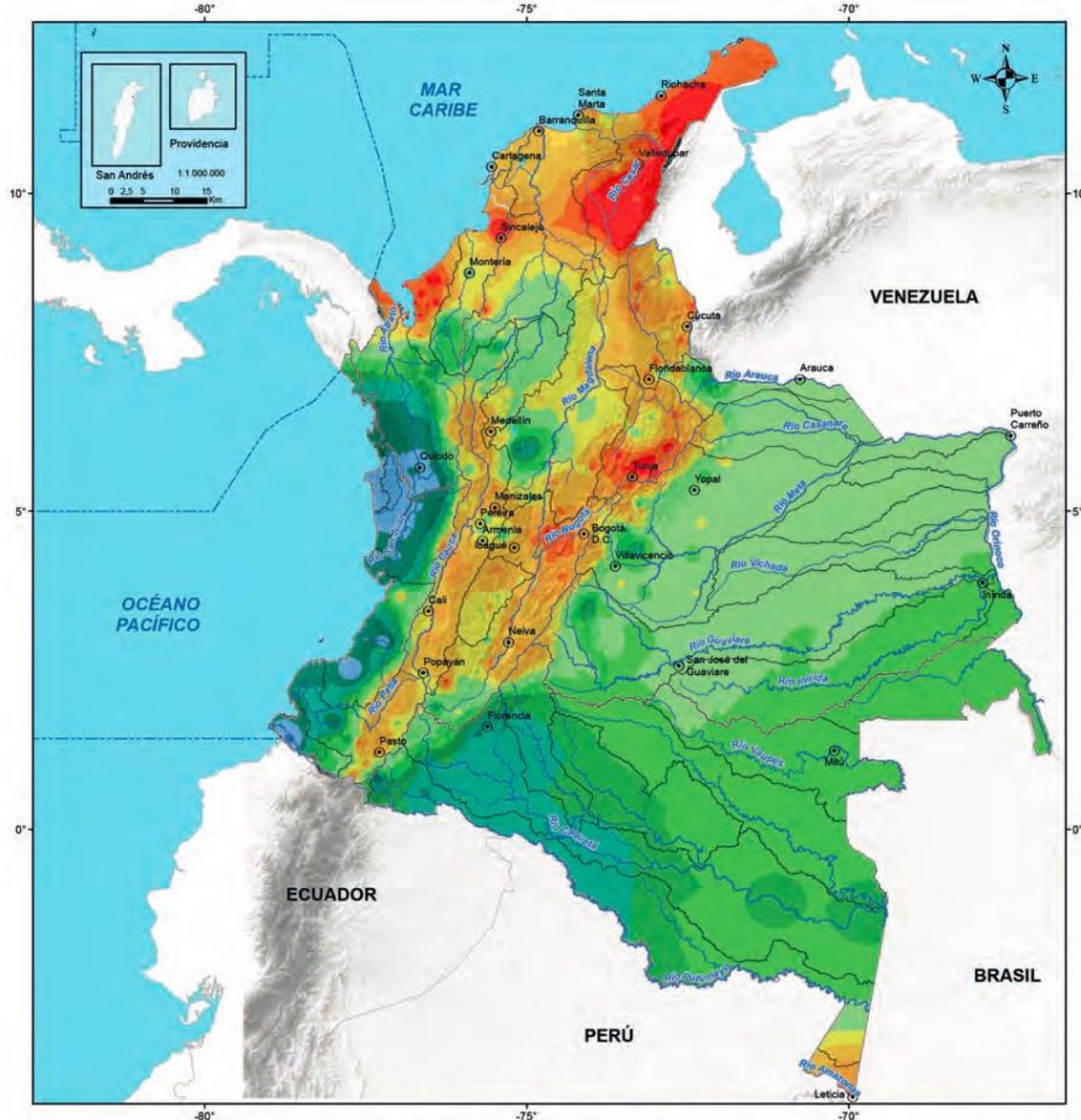
Tabla 2.2 Rendimientos promedio por área hidrográfica

| | Área hidrográfica | Área (km ²) | Rendimiento (l/s/km ²) |
|---|-------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 1 | Caribe | 102.868 | 56,4 |
| 2 | Magdalena - Cauca | 271.132 | 31,7 |
| 3 | Orinoco | 347.228 | 48,4 |
| 4 | Amazonas | 342.010 | 69,1 |
| 5 | Pacífico | 77.309 | 116,2 |

El Módulo hídrico en Colombia



El Módulo hídrico en Colombia





ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2014
RENDIMIENTO HÍDRICO TOTAL
CONDICIONES DE AÑO SECO

Rendimiento medio anual (litros/seg/km²)

| | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 0 - 3 3 - 6 6 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 50 | <ul style="list-style-type: none"> 50 - 70 70 - 100 100 - 150 150 - 200 Mayor a 200 |
|--|--|

Convenciones

- Capital Departamental
- Límite Internacional Marítimo
- Ríos
- Cuerpos de agua
- Área Hidrográfica
- Zona Hidrográfica

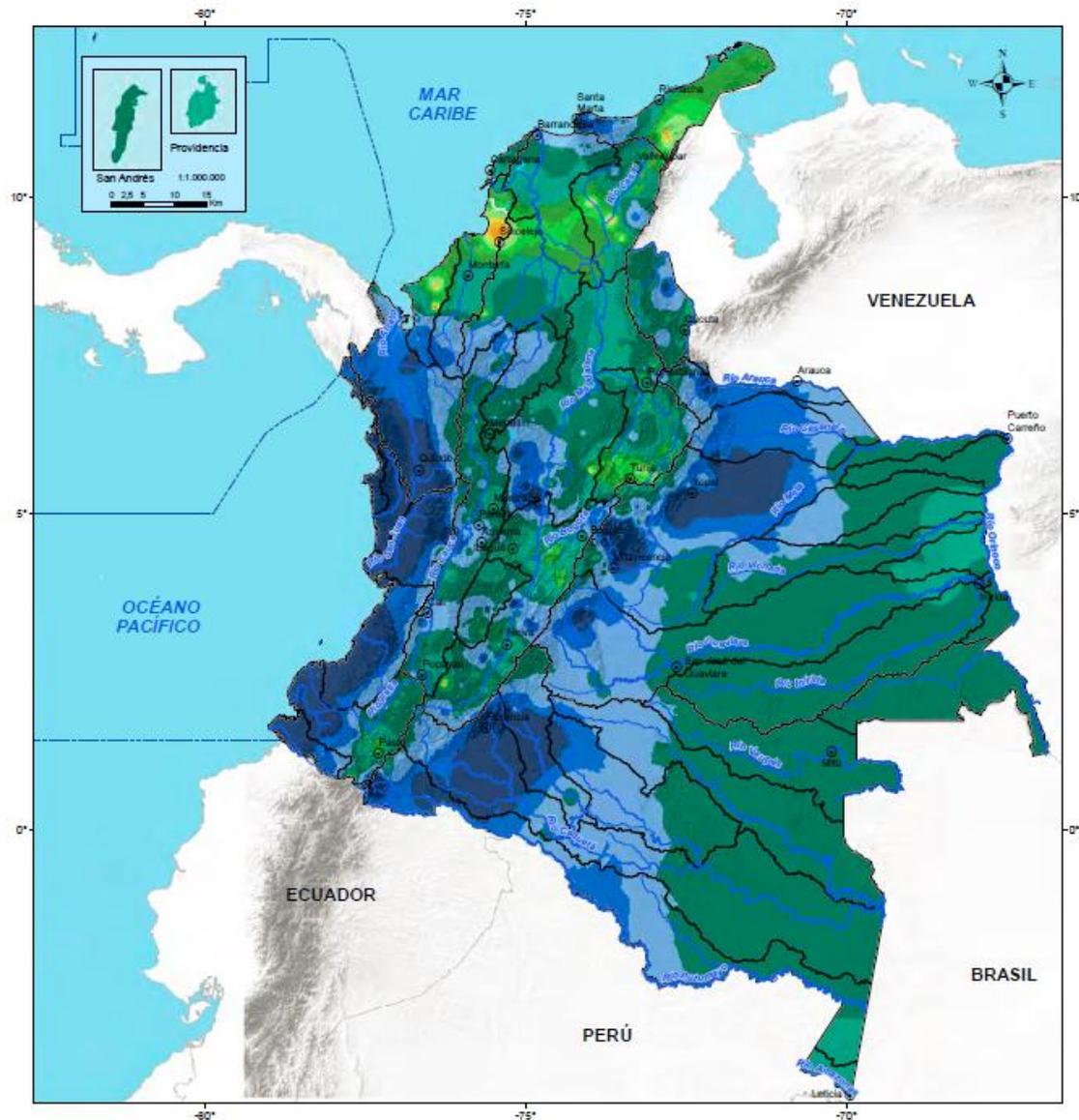
Información de Referencia

Escala 1:11.000.000




PROYECCIÓN Conforme de Gauss
DATUM MAGNA - SIRGAS
COORDENADAS 4° 35' 46,32" Lat N
GEOGRÁFICAS 74° 54' 39,62" Lon O
Fuente: IDEAM 2014
Cartografía Básica IGAC

El Módulo hídrico en Colombia



A photograph of a large agricultural field with a center pivot irrigation system. In the foreground, a black riser pipe is visible, with multiple nozzles spraying water in a wide arc. The water droplets are captured in mid-air, creating a misty effect. The field is filled with lush green crops, likely corn. In the background, there are palm trees and a range of mountains under a clear sky.

***El Agua en el Sector Agropecuario
Colombiano***

El Agua en el Sector Agropecuario Colombiano

- **Distritos en pequeña escala: Área aprovechable entre 30 y 500 has.**
- **Distritos en mediana escala: Área aprovechable entre 501 y 5.000 has.**
- **Distritos en gran escala: Área aprovechable mayor a 5.000 has.**

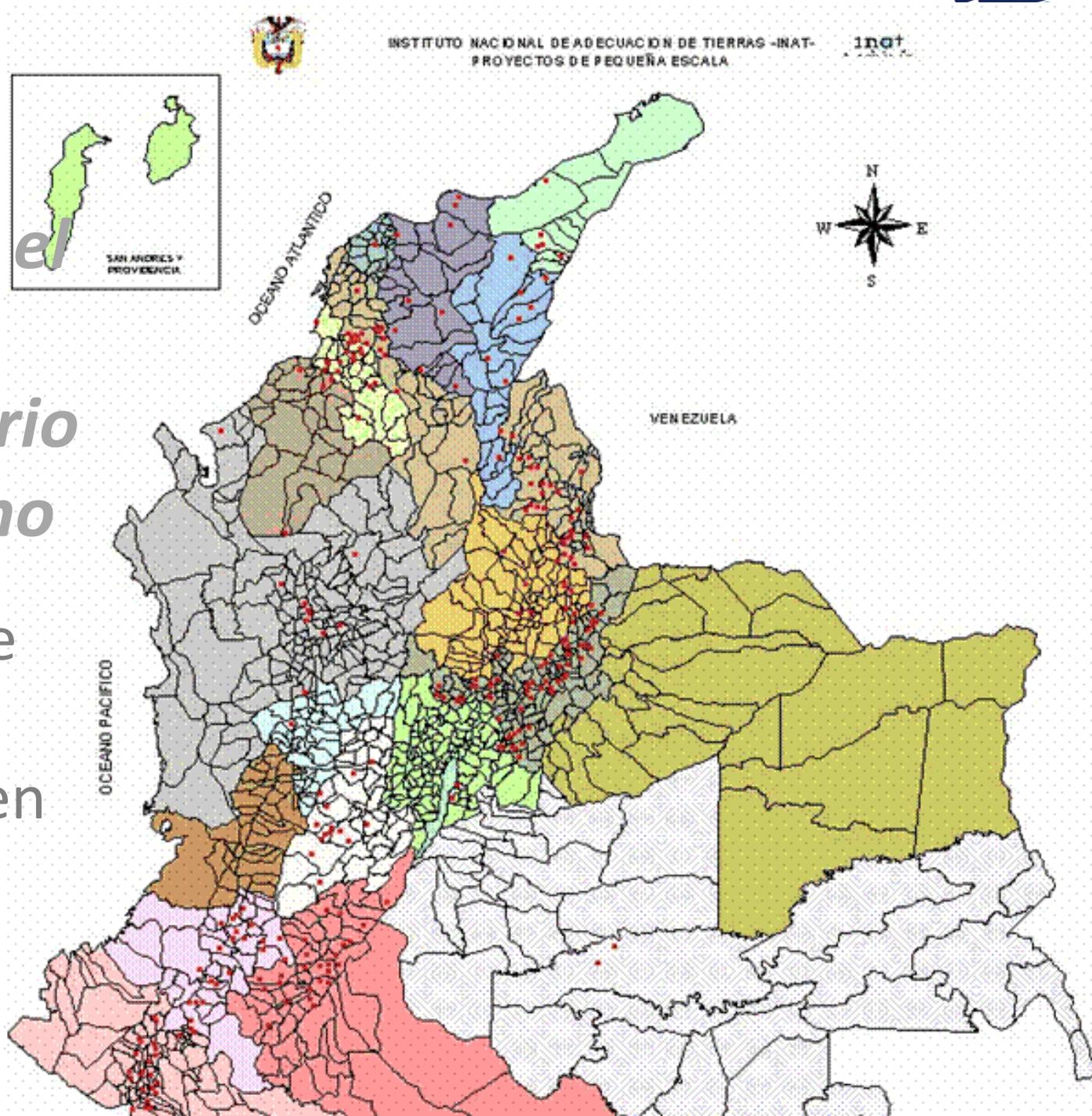
El Agua en el Sector Agropecuario Colombiano

- Distritos de Riego y Drenaje.
- AREA TOTAL ADECUACIÓN: 1'086.800 ha. (14,3%)
- Área Potencial: 6'513.200 ha.
- Ranchería, 18.536 ha.
- Triangulo del Tolima, 20.402 ha.
- Tesalia Paicol. 3.823 ha.
- DISTritos DE GRAN
Y MEDIANA IRRIGACIÓN: 363.838 Ha.
- DISTritos DE PEQUEÑA IRRIGACIÓN:
512 Distritos, 5.798 Ha.

Construcción

El Agua en el Sector Agropecuario Colombiano

- Distritos de Pequeña Irrigación en Colombia

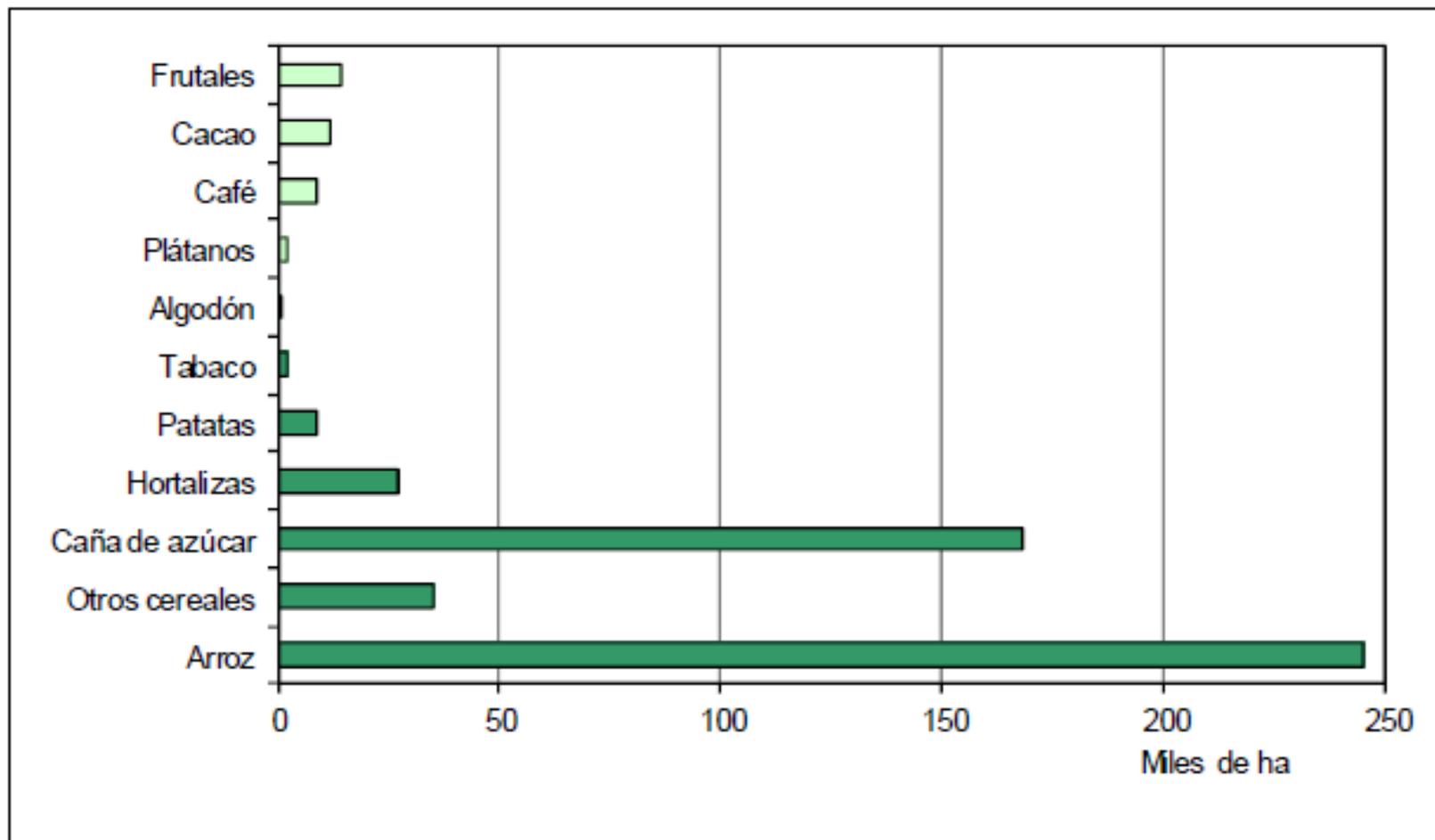


El Agua en el Sector Agropecuario Colombiano

FIGURA 3

Cultivos cosechados en superficies equipadas para el riego con dominio total

Superficie total cosechada: 524 000 ha en 2011 (intensidad de cultivo sobre superficie efectivamente regada: 133%)



Problemática del Agua

- Degradación de cuencas hidrográficas.
- Estacionalidad de la producción agropecuaria.
- Degradación física, química y biológica de corrientes y cuerpos de agua.
- Bajo cubrimiento de los distritos de Riego y Drenaje.
- Baja cultura del uso del agua.
- Degradación de propiedades físicas del suelo.

Riesgos inherentes al Agua

- Inundaciones
- Sequías
- Baja eficiencia del uso del agua
- Baja disponibilidad del recurso hídrico
- Pérdida de la calidad del líquido.
- Erosión, deslizamientos y remoción en masa
- SITUACIÓN ACTUAL DEL CLIMA
- Fenómenos de Variabilidad Climática (ENOS).
- Cambio Climático Global (CCG).

El desarrollo Agropecuario a partir del Agua

- ACCIONES POLÍTICAS

- Políticas favorables a la irrigación
- Fomento al riego (financiación, asistencia técnica, capacitación, etc.)
- Infraestructura del riego y drenaje

- INVESTIGACIÓN

- Búsqueda de soluciones para minimizar los riesgos, optimizar los recursos y prever el futuro.

Investigaciones Desarrolladas

- ESTUDIOS DE CASO
 - Disponibilidad hídrica en la sabana de Bogotá.
 - Requerimientos hídricos en especies priorizadas.
 - Análisis agroclimático de la región de La Mojana.
 - Validación, ajuste y transferencia de tecnología del riego en distritos de pequeña irrigación.
 - Manejo del recurso hídrico a nivel predial en la zona árida del alto Patía.
 - Manejo del riego y la fertirrigación en tomate bajo cubierta.
 - Manejo del riego en Cebolla Ocañera y otros cultivos, etc.
 - Determinación de la huella hídrica y modelación de la producción de biomasa de cultivos forrajeros a partir del agua.

Análisis Agroclimático



El oro de la cultura Zenú representa con gran realismo la fauna de la región de "La Mojana"

Remate de Bastón (Ancho 15.5 cm, Alto 142 cm). Museo del Oro (Santafé de Bogotá).

Región de la Mojana



ADAPTABILIDAD DE LA PRODUCCION AGROPECUARIA SOSTENIBLE EN LOS ECOSISTEMAS DE LA MOJANA

Análisis Agroclimático de la Región de la Mojana

- **OBJETIVO GENERAL**
- Analizar el comportamiento agroclimático de la región de La Mojana para estimar a partir de dichos estudios las relaciones del clima con la biósfera.



Localización de la Región

Está ubicada en la región caribe en los departamentos de:

| | |
|-----------|-----|
| Sucre | 72% |
| Bolívar | 16% |
| Córdoba | 10% |
| Antioquia | 2% |

Tiene una extensión de: 513.474 ha.

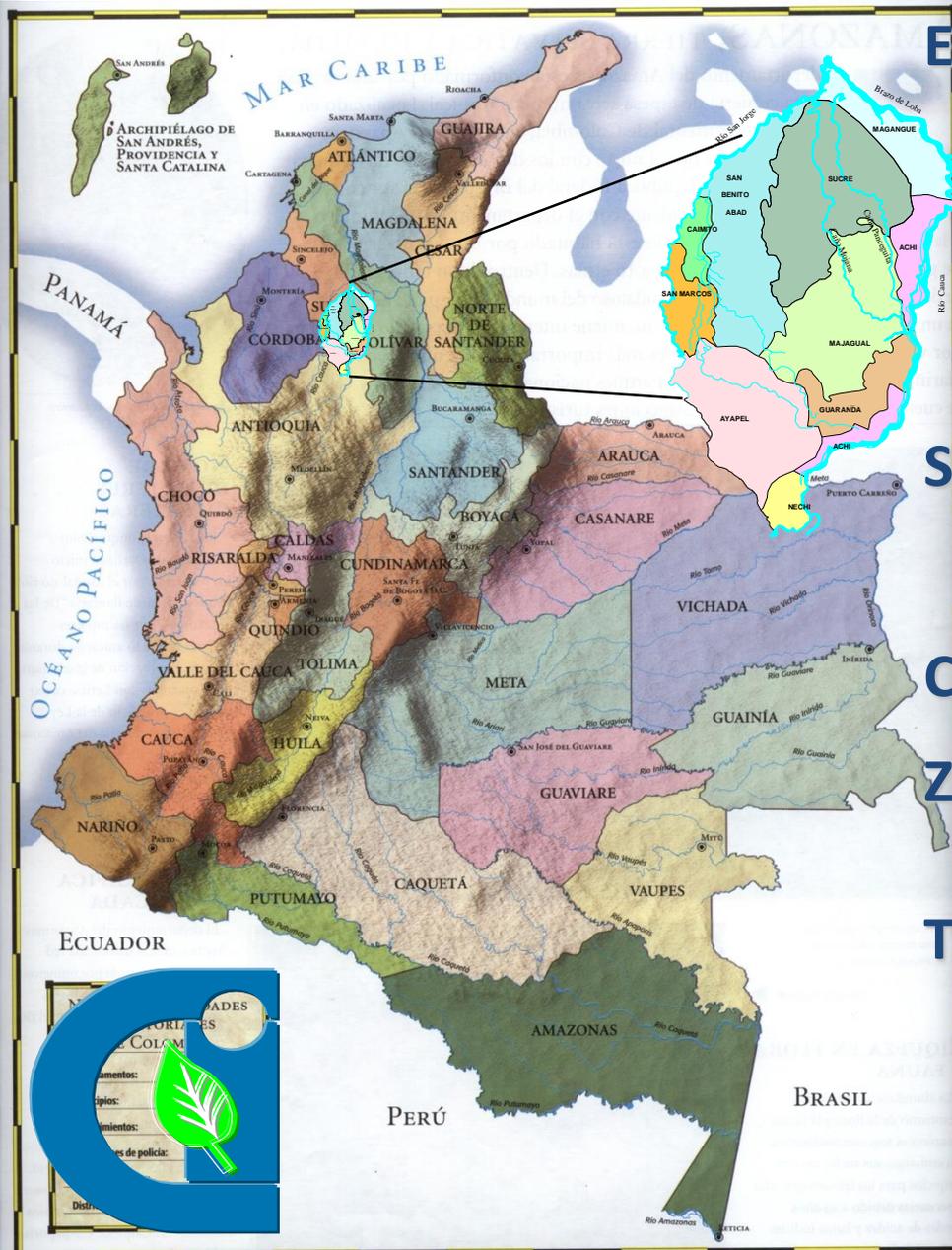
Se ubica entre las coordenadas geográficas: $8^{\circ} 01'$ y $9^{\circ} 10'$ de latitud Norte, y los $74^{\circ} 27'$ y $75^{\circ} 08'$ de longitud oeste.

Clasificación según Holdridge: Bósque húmedo Tropical (bhT)

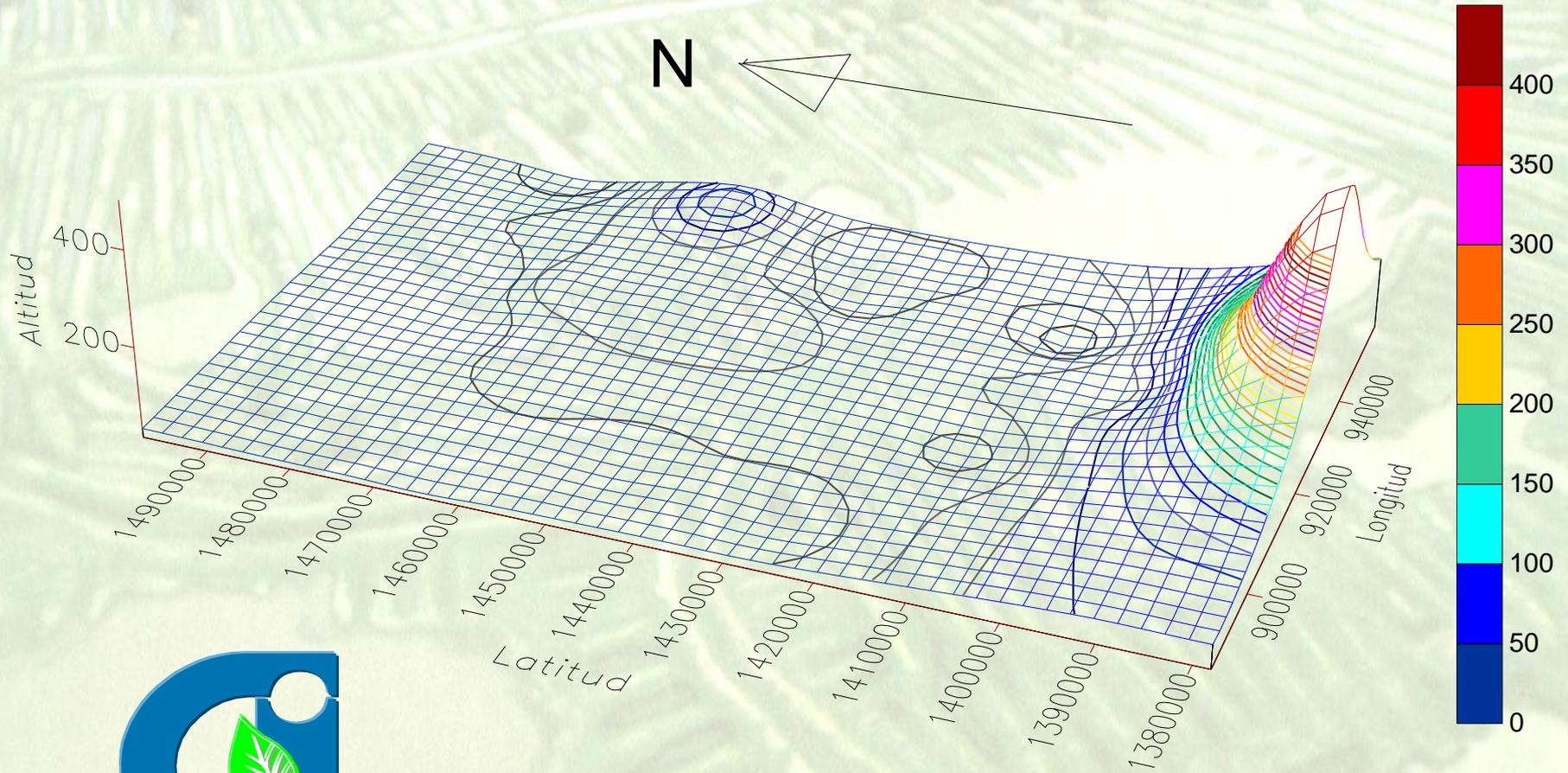
Zonificación agroecológica: W (planicie aluvial pobremente drenada), Kb (planicie aluvial).

Taxonomía de los suelos:

Endoaquept, Fluvaquents, Udipsamments.



MDT de *La Mojana*

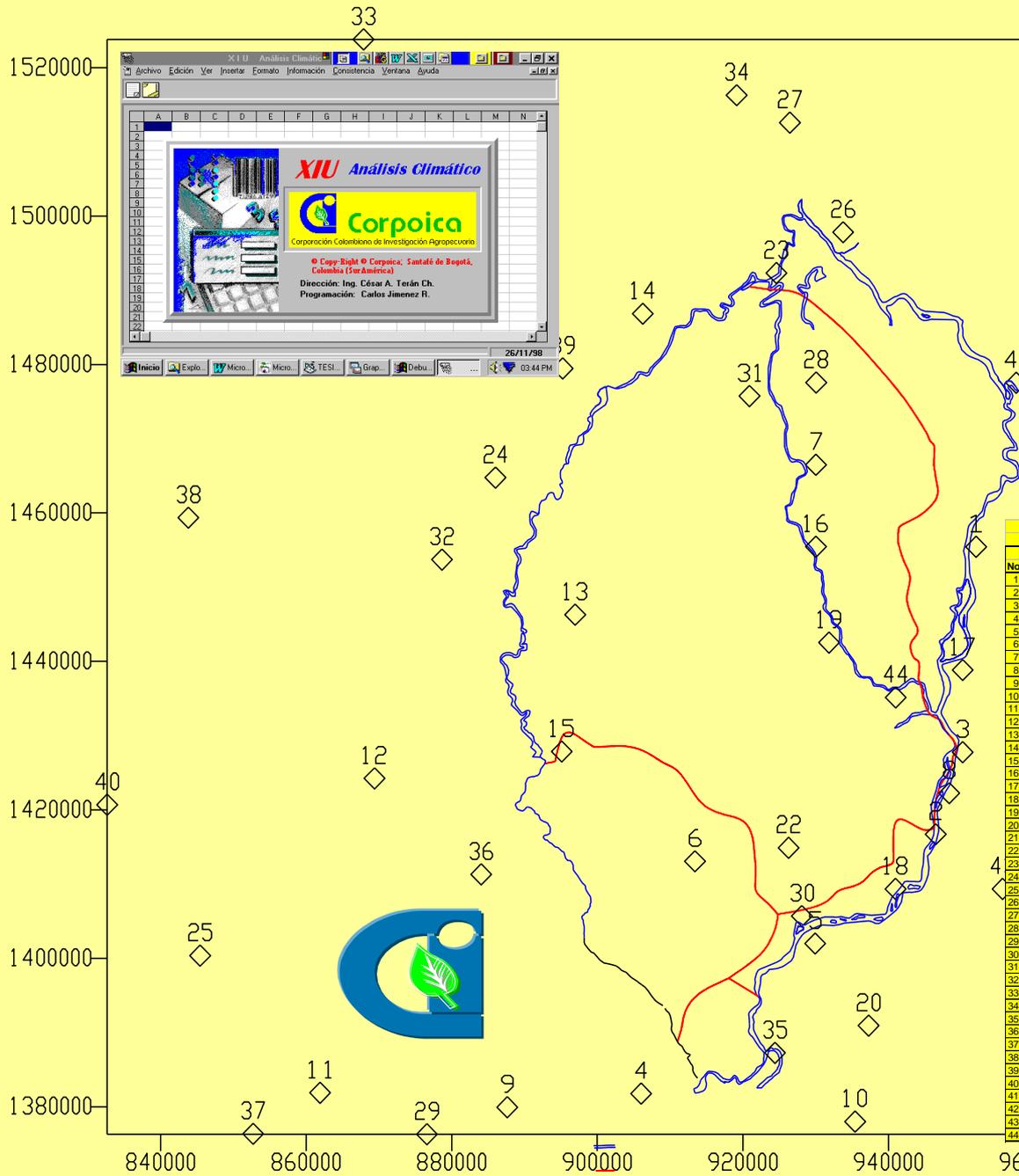


Información utilizada

- Información climática (IC) y agronómica (IA)
- Precipitación decadal con el 75% de probabilidad de ocurrencia.
- Evapotranspiración de referencia originada de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%), velocidad del viento diarios (m/s) y brillo solar (horas/día) decadales.
- Suelos y cobertura vegetal y uso de suelo, Capacidad máxima de retención de agua.



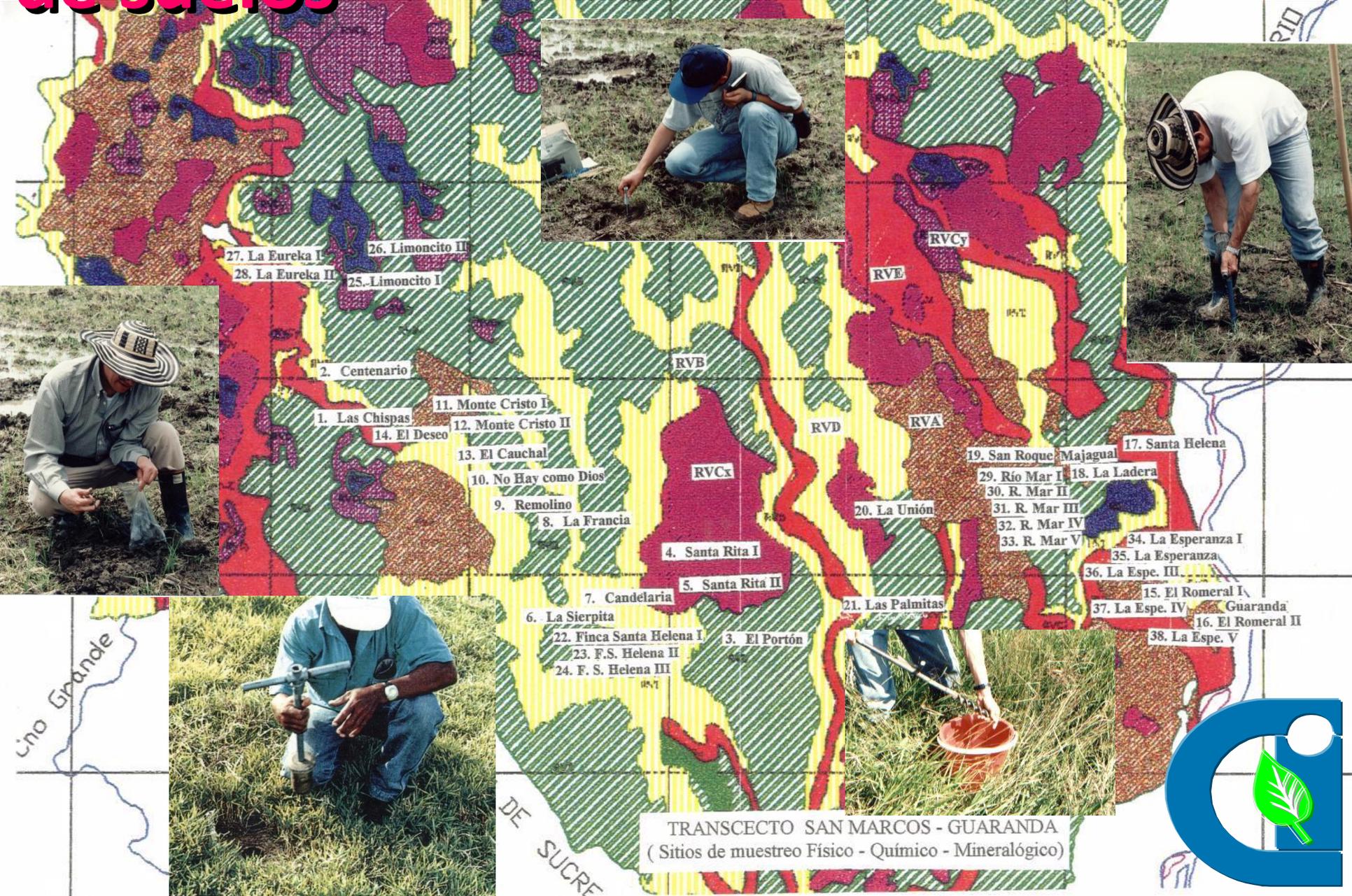
Estaciones climáticas usadas (Ideam)



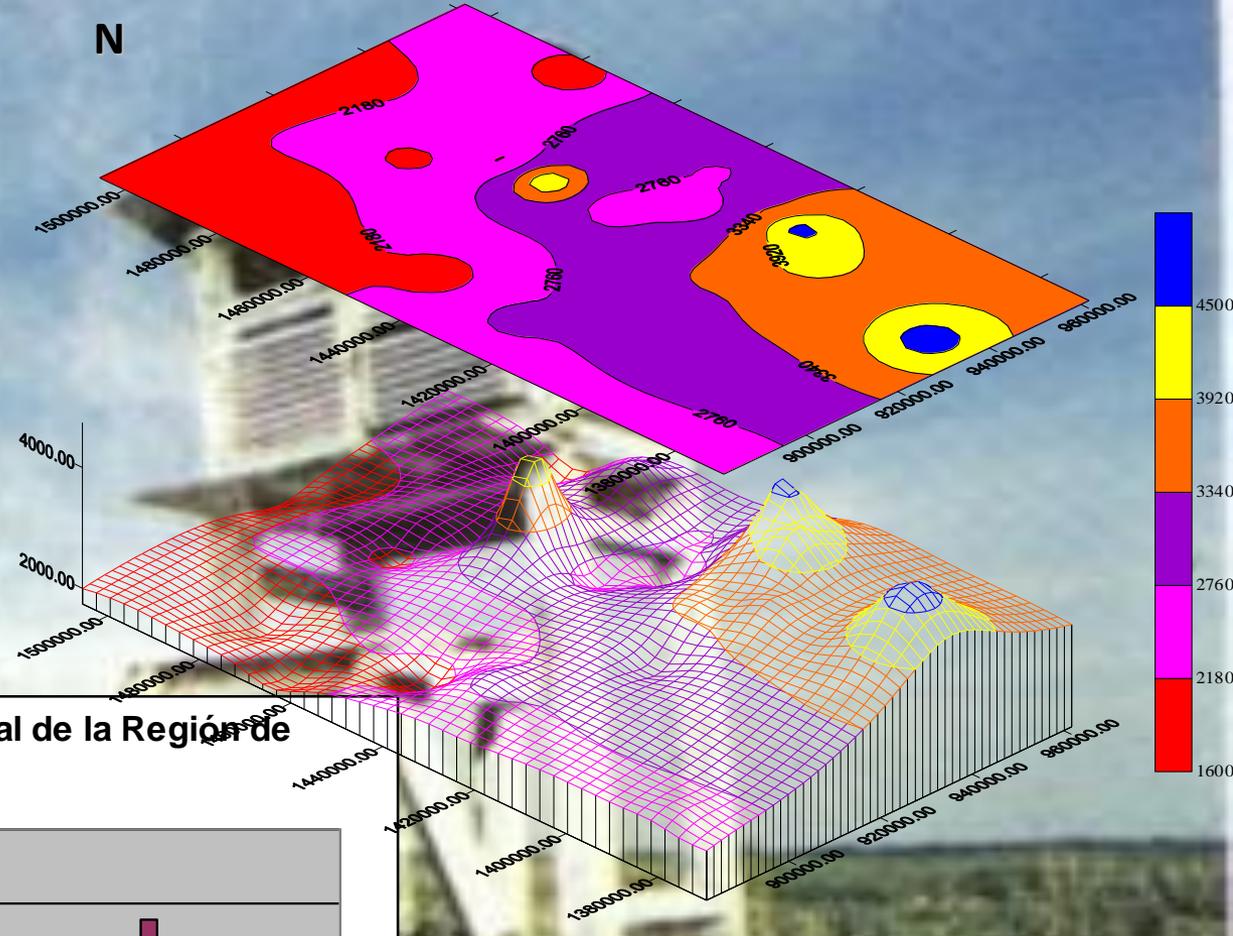
Estaciones climatológicas seleccionadas por concurrencia y espacialidad en la Región de la Mojaña
Proyecto Análisis Agroclimático de la región de la Mojaña.

| No | Código | TE | Estación | Subcuenca | Dpto. | Municipio | Crd.N gr.min | Eleva msnm | F. Insta. año | F. Susp. año | Periodo mes | Registro | |
|----|---------|----|-------------------|------------------|-------|------------------|-----------------|---------------|------------------|-----------------|----------------|----------|----|
| 1 | 2502003 | PM | GUACAMAYO | CAUCA | BOLI | ACHI | 0843 | 7431 | 80 | 966 | 7 | 994 | 28 |
| 2 | 2502033 | PM | CAIMITAL | CARIBONA | BOLI | ACHI | 0822 | 7434 | 30 | 966 | 9 | 994 | 28 |
| 3 | 2502039 | PM | GUARANDA | CAUCA | BOLI | ACHI | 0828 | 7432 | 25 | 966 | 8 | 994 | 28 |
| 4 | 2502037 | PM | MONEDA HDA LA | CAUCA | ANTI | CAUCASIA | 0803 | 7456 | 30 | 970 | 5 | 994 | 24 |
| 5 | 2502041 | PM | CANDELARIA LA | CAUCA | BOLI | ACHI | 0814 | 7443 | 40 | 966 | 7 | 994 | 28 |
| 6 | 2502048 | PG | PAJAROS LOS | CGA DE AYAPEL | CORD | AYAPEL | 0820 | 7452 | 25 | 968 | 10 | 994 | 26 |
| 7 | 2502050 | PM | VILLA CECILIA HDA | BZO MONJANA | SUCR | SUCRE | 0849 | 7443 | 50 | 968 | 5 | 994 | 26 |
| 8 | 2502051 | PM | ALPES LOS | CAUCA | BOLI | ACHI | 0825 | 7433 | 25 | 966 | 8 | 994 | 28 |
| 9 | 2502053 | PM | ILUSION LA | CUACA | ANTI | CAUCASIA | 0802 | 7506 | 60 | 970 | 5 | 994 | 24 |
| 10 | 2502054 | PM | PATIO BONITO | Q SAN PABLO | ANTI | NECHI | 0801 | 7440 | 500 | 970 | 5 | 994 | 24 |
| 11 | 2502070 | PM | APARTADA LA | SAN JORGE | CORD | AYAPEL | 0803 | 7520 | 50 | 973 | 11 | 994 | 21 |
| 12 | 2502071 | PM | CINTURA | CNO CANALETE | CORD | PUEBLO NUEVO | 0826 | 7516 | 25 | 973 | 11 | 994 | 21 |
| 13 | 2502074 | PM | EUREKA HDA | CGA LA CRUZ | SUCR | SAN MARCOS | 0838 | 7501 | 20 | 973 | 11 | 994 | 21 |
| 14 | 2502076 | PM | SANTIAGO APOSTO | AY GRANDE COROZA | SUCR | SAN BENITO ABAD | 0900 | 7456 | 25 | 973 | 11 | 994 | 21 |
| 15 | 2502078 | PM | CECILIA | CGA DE AYAPEL | CORD | AYAPEL | 0828 | 7502 | 20 | 973 | 12 | 994 | 21 |
| 16 | 2502079 | PM | PALMARITO | CNO MOJANA | SUCR | MAJAGUAL | 0843 | 7443 | 50 | 974 | 3 | 994 | 20 |
| 17 | 2502080 | PM | BUELVISTA | CAUCA | BOLI | ACHI | 0834 | 7432 | 20 | 974 | 4 | 994 | 20 |
| 18 | 2502081 | PM | ASTILLEROS | CAUCA | BOLI | ACHI | 0818 | 7437 | 10 | 974 | 4 | 994 | 20 |
| 19 | 2502082 | PM | ZAPATA | CNO RIVUEJO | SUCR | MAJAGUAL | 0836 | 7442 | 50 | 974 | 4 | 994 | 20 |
| 20 | 2502085 | PM | REGENCIA | CARIBONA | BOLI | ACHI | 0808 | 7439 | 100 | 974 | 5 | 994 | 20 |
| 21 | 2502091 | PM | RIONUEVO | BZO QUITASOL | BOLI | BARRANCO DE LOBA | 0849 | 7417 | 140 | 974 | 10 | 994 | 20 |
| 22 | 2502094 | PM | VILLANUEVA | CAUCA | SUCR | MAJAGUAL | 0821 | 7445 | 40 | 974 | 4 | 994 | 20 |
| 23 | 2502095 | PM | SAN ANTONIO ALEX | SAN JORGE | BOLI | MAGANGUE | 0903 | 7446 | 10 | 974 | 4 | 994 | 20 |
| 24 | 2502098 | PM | CAIMITO | AY SAN JUAN | SUCR | CAIMITO | 0848 | 7507 | 20 | 973 | 11 | 994 | 21 |
| 25 | 2502101 | PM | BUENAVISTA | Q CANTARANA | CORD | BUENAVISTA | 0813 | 7529 | 110 | 973 | 11 | 994 | 21 |
| 26 | 2502118 | PM | STA CRUZ | BZO DE LOBA | BOLI | MOMPOS | 0906 | 7441 | 20 | 974 | 3 | 994 | 20 |
| 27 | 2502134 | PM | ESPERANZA LA | BZO DE LOBA | BOLI | MOMPOS | 0914 | 7445 | 18 | 958 | 9 | 994 | 36 |
| 28 | 2502136 | PM | CAMPO ALEGRE | CNO MOJANA | SUCR | SUCRE | 0855 | 7443 | 20 | 974 | 4 | 994 | 20 |
| 29 | 2502139 | PM | CAUCASIA | CAUCA | ANTI | CAUCASIA | 0800 | 7512 | 70 | 959 | 2 | 994 | 35 |
| 30 | 2502153 | PM | TALADRO EL | CAUCA | BOLI | ACHI | 0816 | 7444 | 240 | 973 | 9 | 974 | 1 |
| 31 | 2502156 | PM | ISLA DEL COCO | CNO MOJANA | SUCR | SUCRE | 0854 | 7446 | 20 | 974 | 4 | 994 | 20 |
| 32 | 2502504 | CP | APTO LA FLORIDA | AY MONTEGRANDE | SUCR | SAN MARCOS | 0842 | 7511 | 30 | 932 | 1 | 994 | 62 |
| 33 | 2502508 | SS | APTO RAFAEL BRA | COROZAL | SUCR | COROZAL | 0820 | 7517 | 166 | 940 | 6 | 994 | 54 |
| 34 | 2502510 | CP | APTO BARACOA | BZO DE LOBA | BOLI | MAGANGUE | 0916 | 7449 | 18 | 954 | 1 | 994 | 40 |
| 35 | 2502514 | CO | NECHI | NECHI | ANTI | CAUCASIA | 0806 | 7446 | 200 | 970 | 6 | 994 | 24 |
| 36 | 2502515 | CO | AYAPEL | CGA AYAPEL | CORD | AYAPEL | 0819 | 7508 | 22 | 967 | 8 | 994 | 27 |
| 37 | 2502516 | CO | CUBA HDA | SAN JORGE | CORD | MONTELIBANO | 0800 | 7525 | 50 | 973 | 4 | 994 | 21 |
| 38 | 2502517 | CO | COLOMBOY | AY MONTEGRANDE | CORD | SAHAGUN | 0845 | 7530 | 125 | 973 | 10 | 994 | 21 |
| 39 | 2502518 | CO | SAN BENITO ABAD | CGA DE MACHADO | SUCR | SAN BENITO ABAD | 0856 | 7502 | 20 | 973 | 11 | 994 | 21 |
| 40 | 2502519 | CO | PLANETA RICA | AY EL DESORDEN | CORD | PLANETA RICA | 0824 | 7536 | 90 | 973 | 11 | 994 | 21 |
| 41 | 2502521 | CO | PINILLOS | BZO DE LOBA | BOLI | PINILLOS | 0855 | 7428 | 10 | 974 | 5 | 994 | 20 |
| 42 | 2502522 | CO | NOROSI | Q NOROSI | BOLI | MORALES | 0853 | 7403 | 160 | 974 | 8 | 994 | 20 |
| 43 | 2502523 | CO | MONTECRISTO | Q MONTECRISTO | BOLI | ACHI | 0818 | 7429 | 100 | 974 | 8 | 994 | 20 |
| 44 | 2502524 | CO | MAJAGUAL | CNO MOJANA | SUCR | MAJAGUAL | 0832 | 7437 | 20 | 974 | 11 | 994 | 20 |

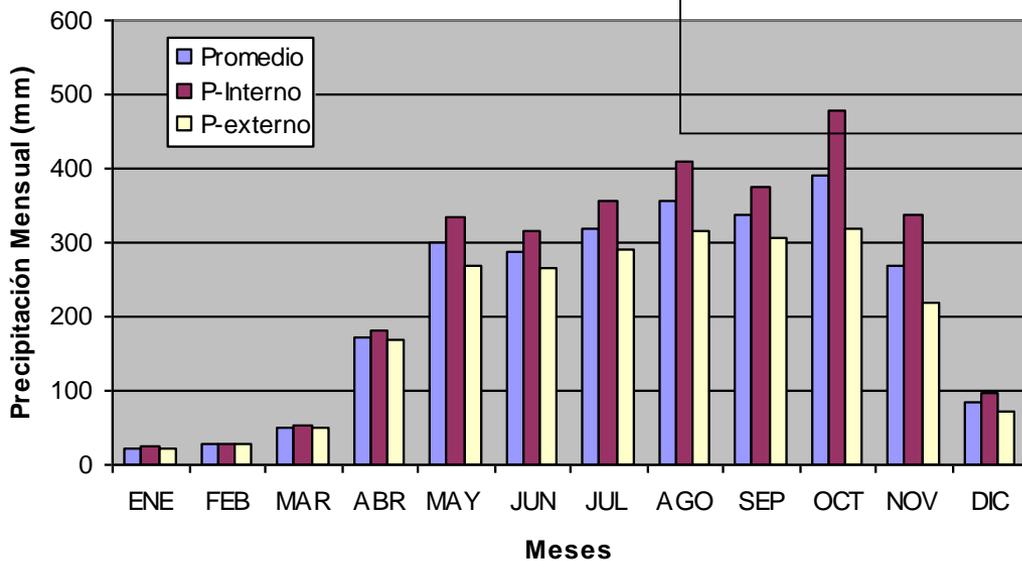
Transcecto para toma de información de suelos



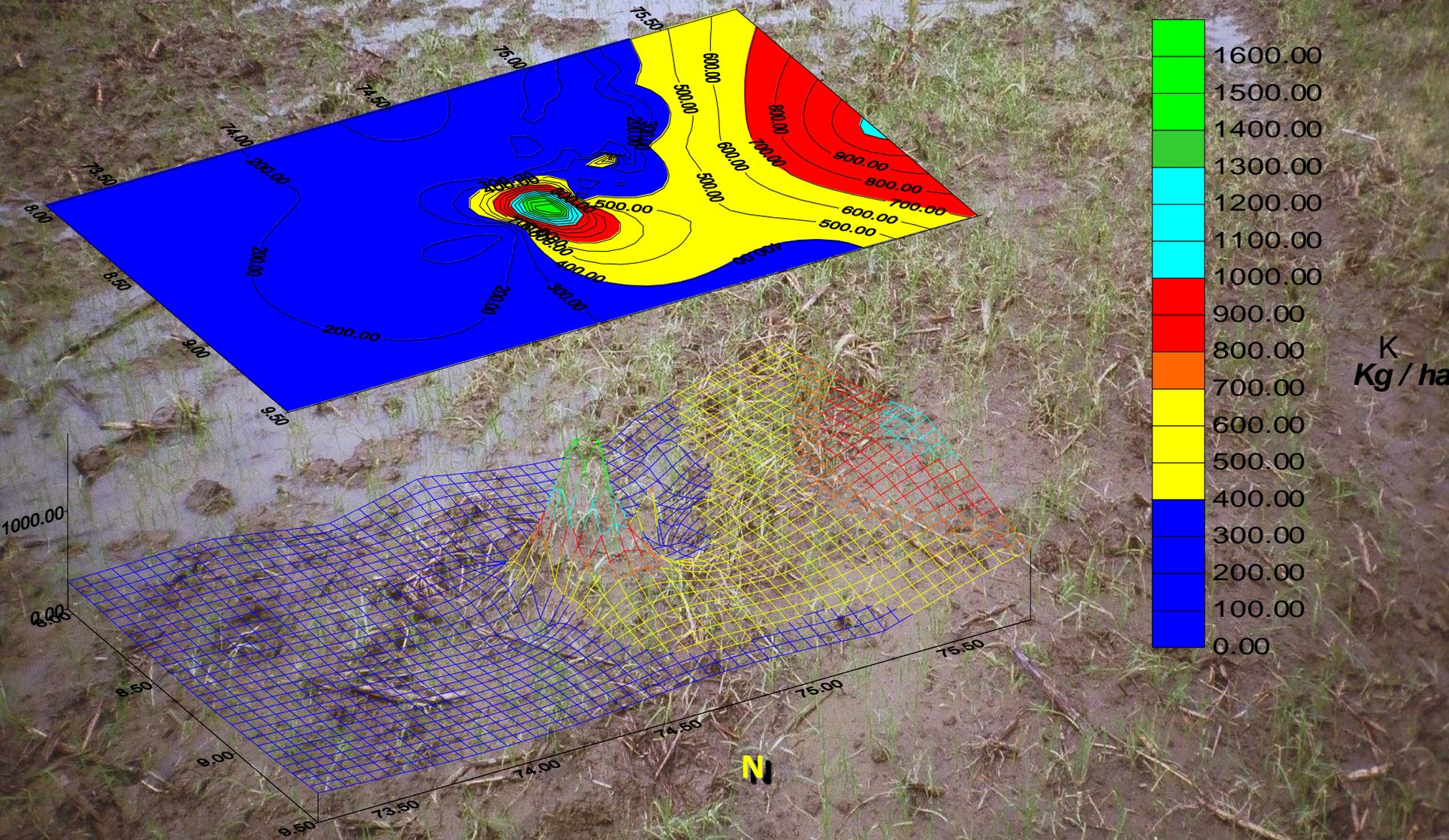
Distribución Espacial de la Precipitación



Precipitación Promedia Multianual de la Región de La Mojana



Variación de Potasio (K) R.L. Mojana



La ecuación de Penman-Monteith

$$ET_0 = \frac{0.408 * (Rn - G) + \gamma * \frac{900}{T + 273} * U_2 * (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma * (1 + 0.34 * U_2)}$$

Donde:

ET₀: Evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/día]

R_n: Radiación neta [MJ/mdía]

G: Flujo de calor del suelo [MJ/mdía]

T: Temperatura promedio [°C]

U₂: Velocidad del viento a dos metros de altura [m/s]

(e_a - e_d): Déficit de presión de vapor [Kpa]

Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor [Kpa/°C]

γ: Constante psicrométrica [kpa/°C]

900: Factor de conversión.



Cálculo Etp

INICIO
Interpolación datos climáticos, elevación, latitud

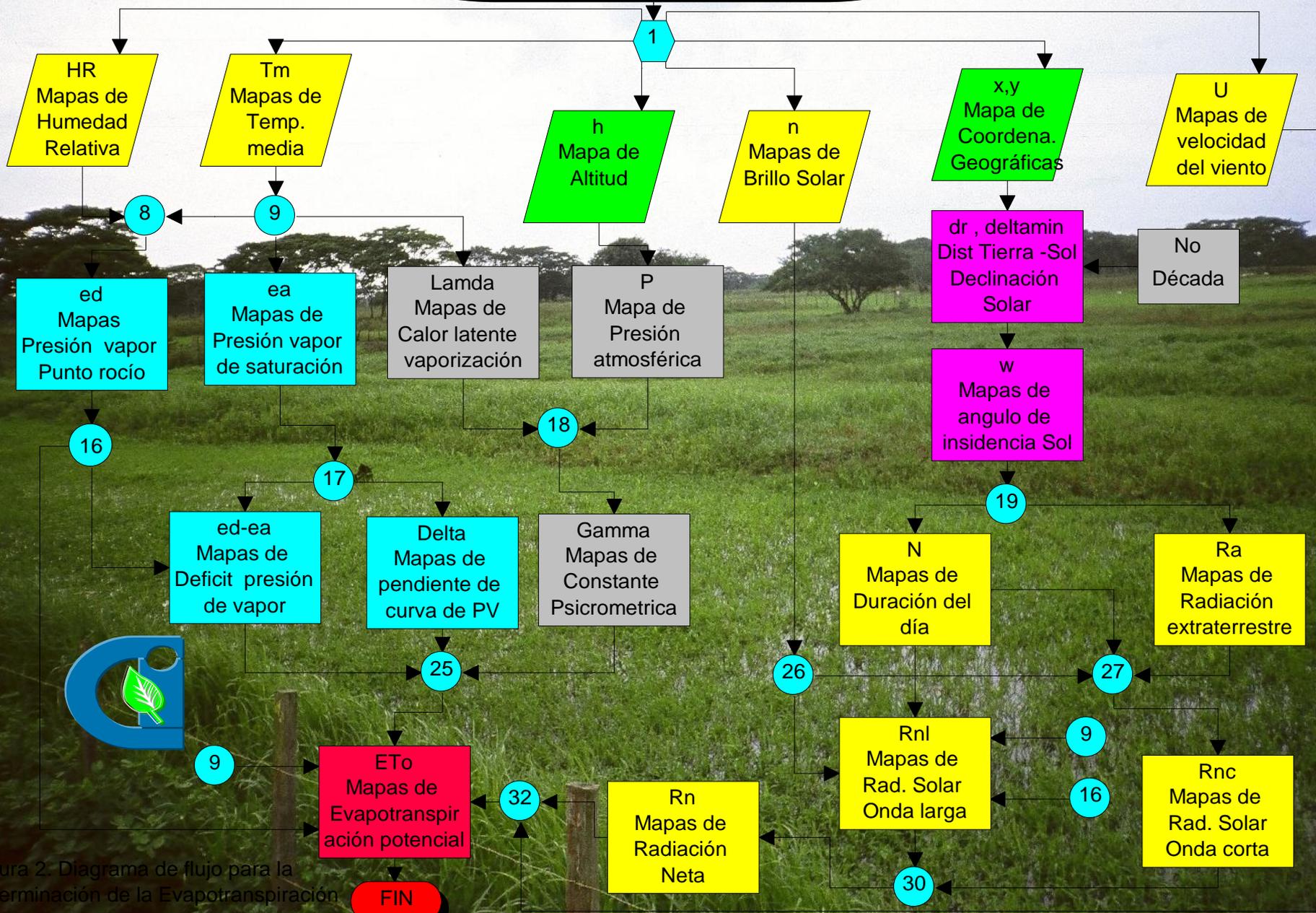
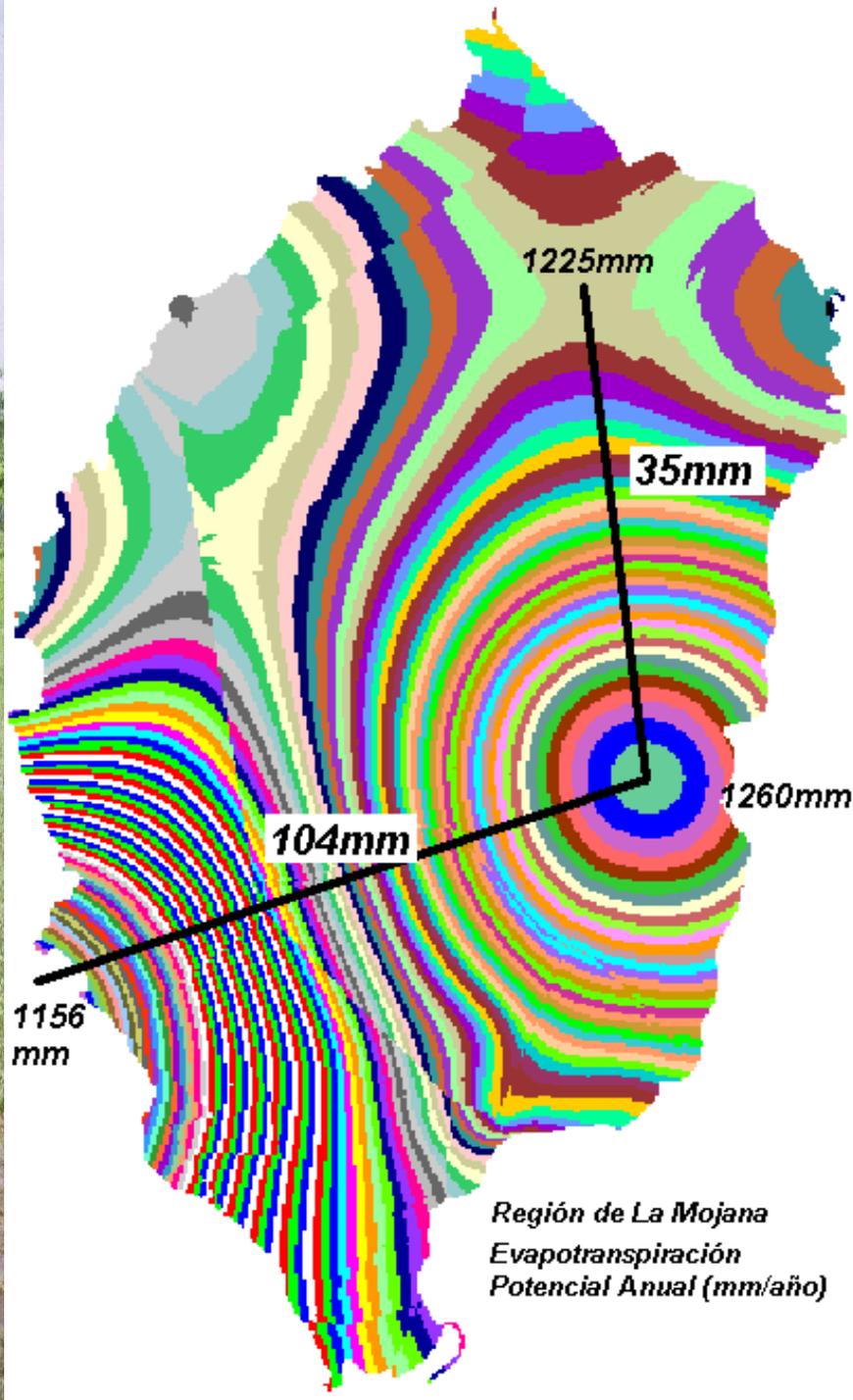


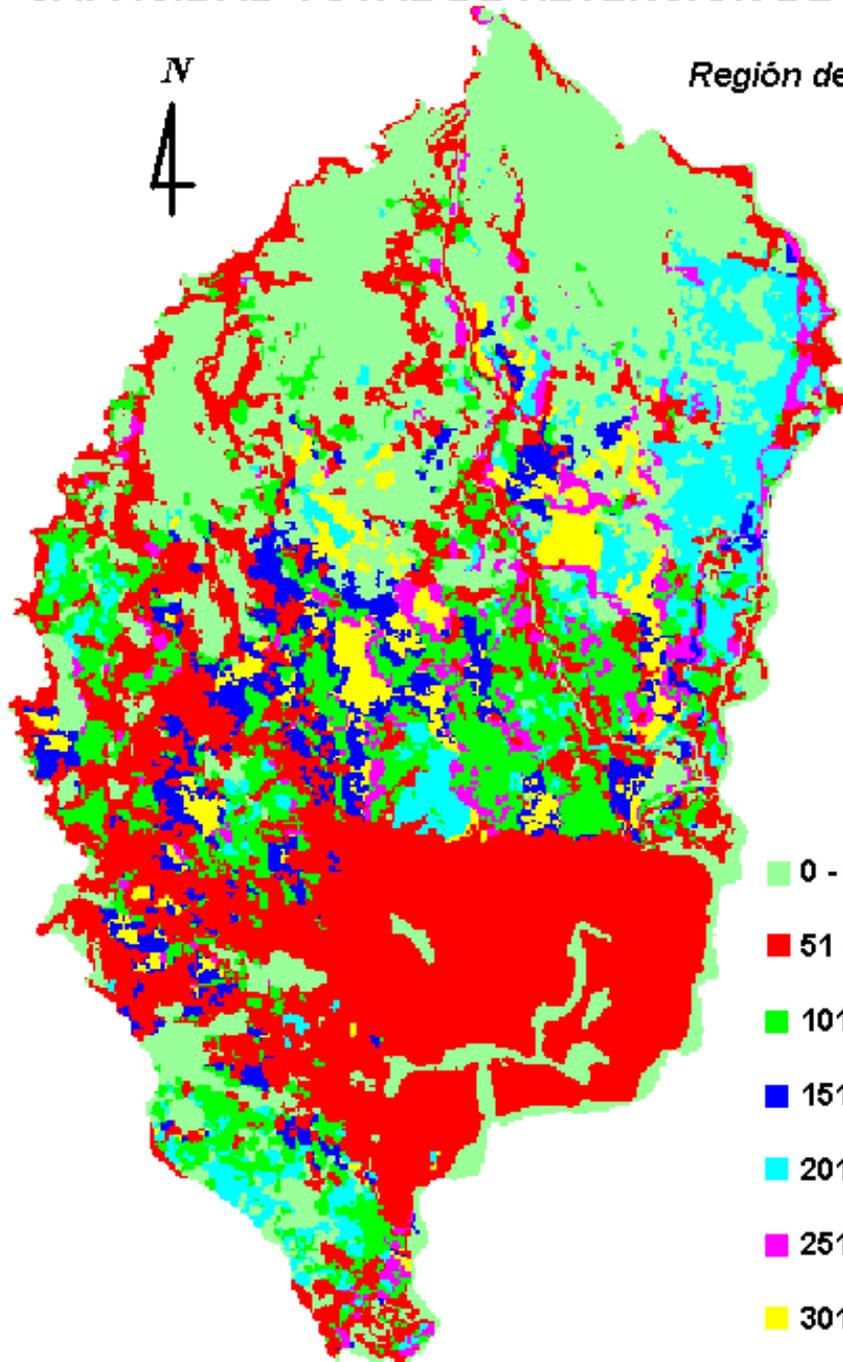
Figura 2. Diagrama de flujo para la determinación de la Evapotranspiración potencial (ETo)



CAPACIDAD TOTAL DE RETENCION DE HUMEDAD

N
4

Región de La Mojana



- 0 - 50 mm
- 51 - 100 mm
- 101 - 150 mm
- 151 - 200 mm
- 201 - 250 mm
- 251 - 300 mm
- 301 - 360 mm



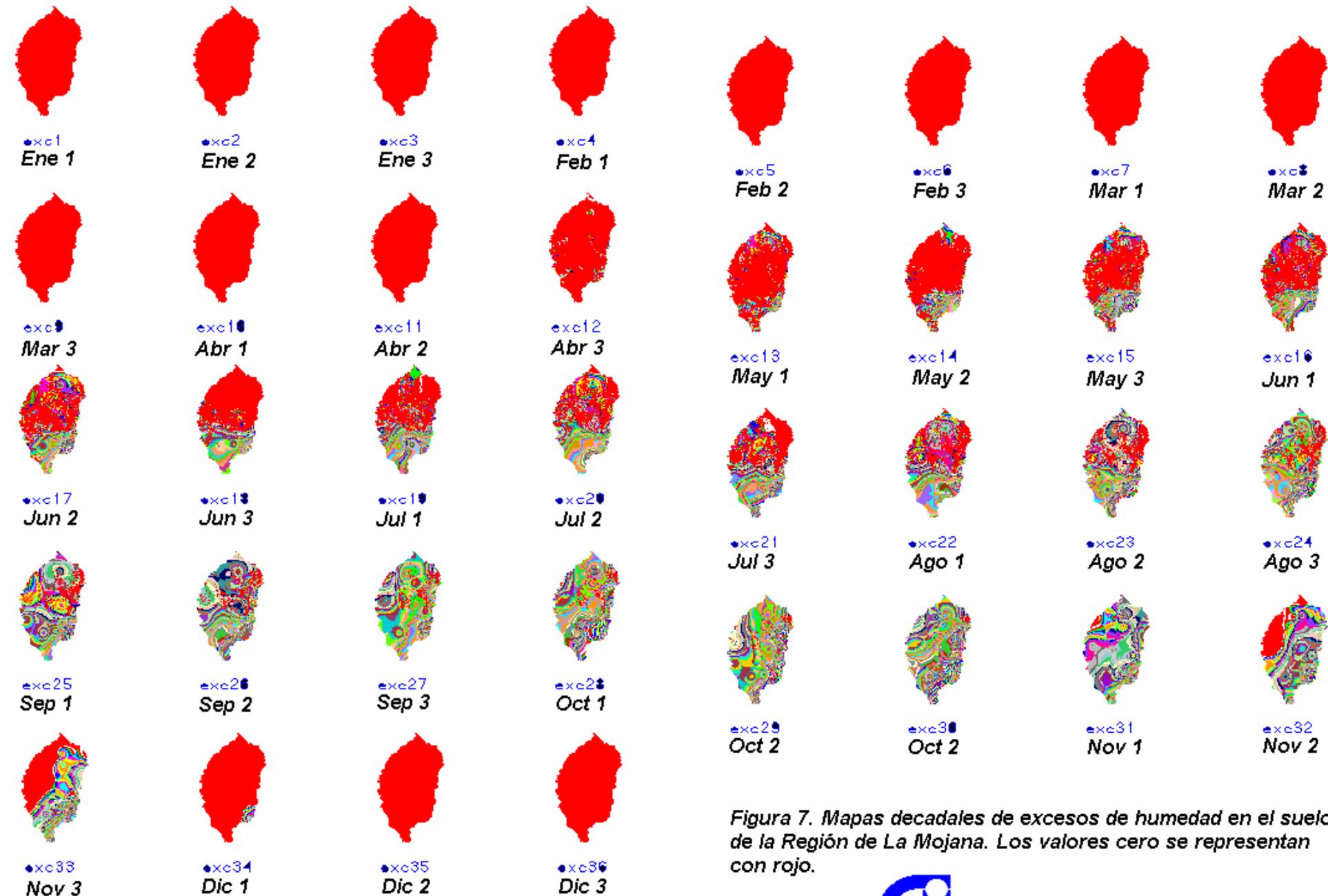


Figura 7. Mapas decadales de excesos de humedad en el suelo de la Región de La Mojana. Los valores cero se representan con rojo.



Corpoica

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

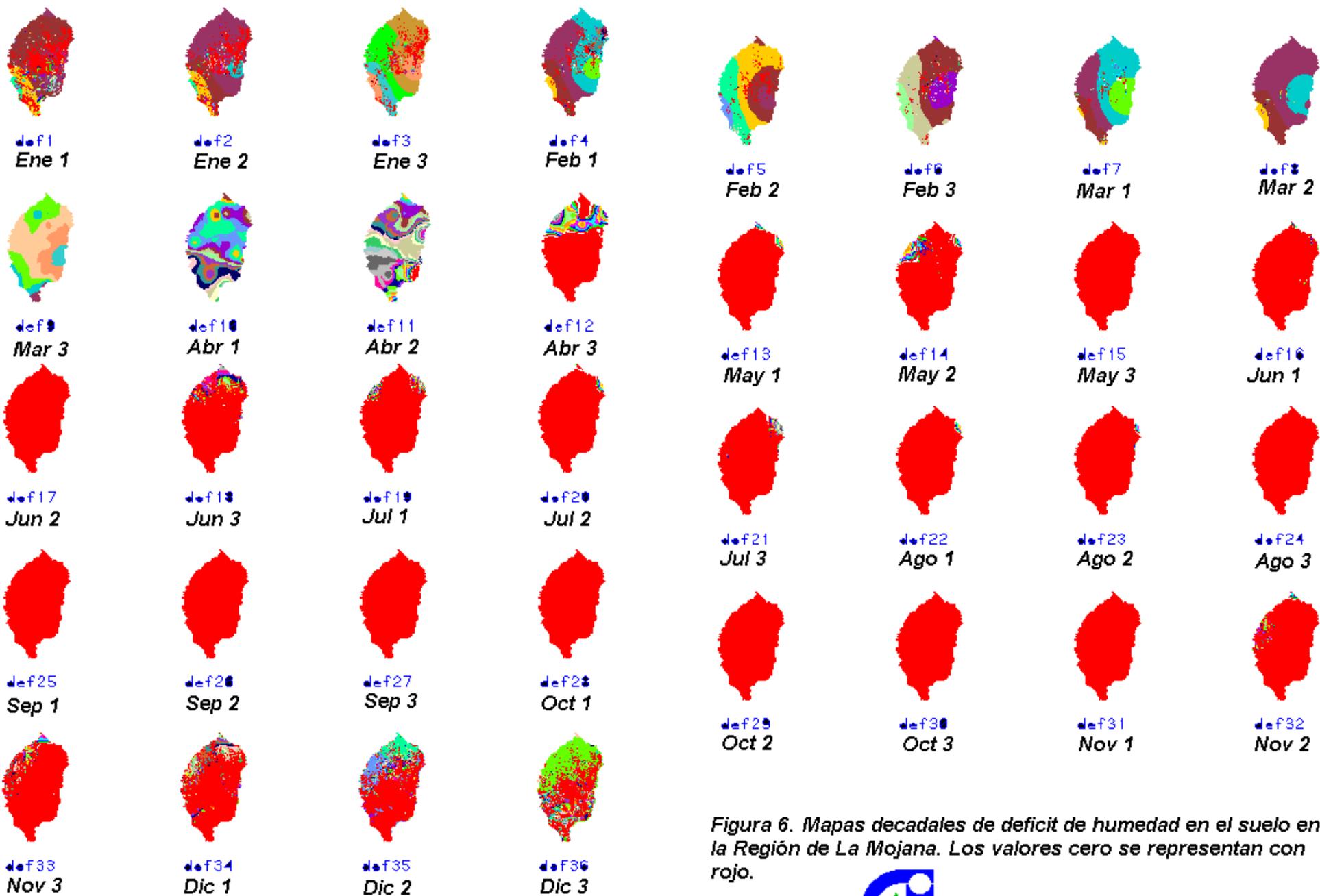


Figura 6. Mapas decadales de deficit de humedad en el suelo en la Región de La Mojana. Los valores cero se representan con rojo.



Corpoica

POICA

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

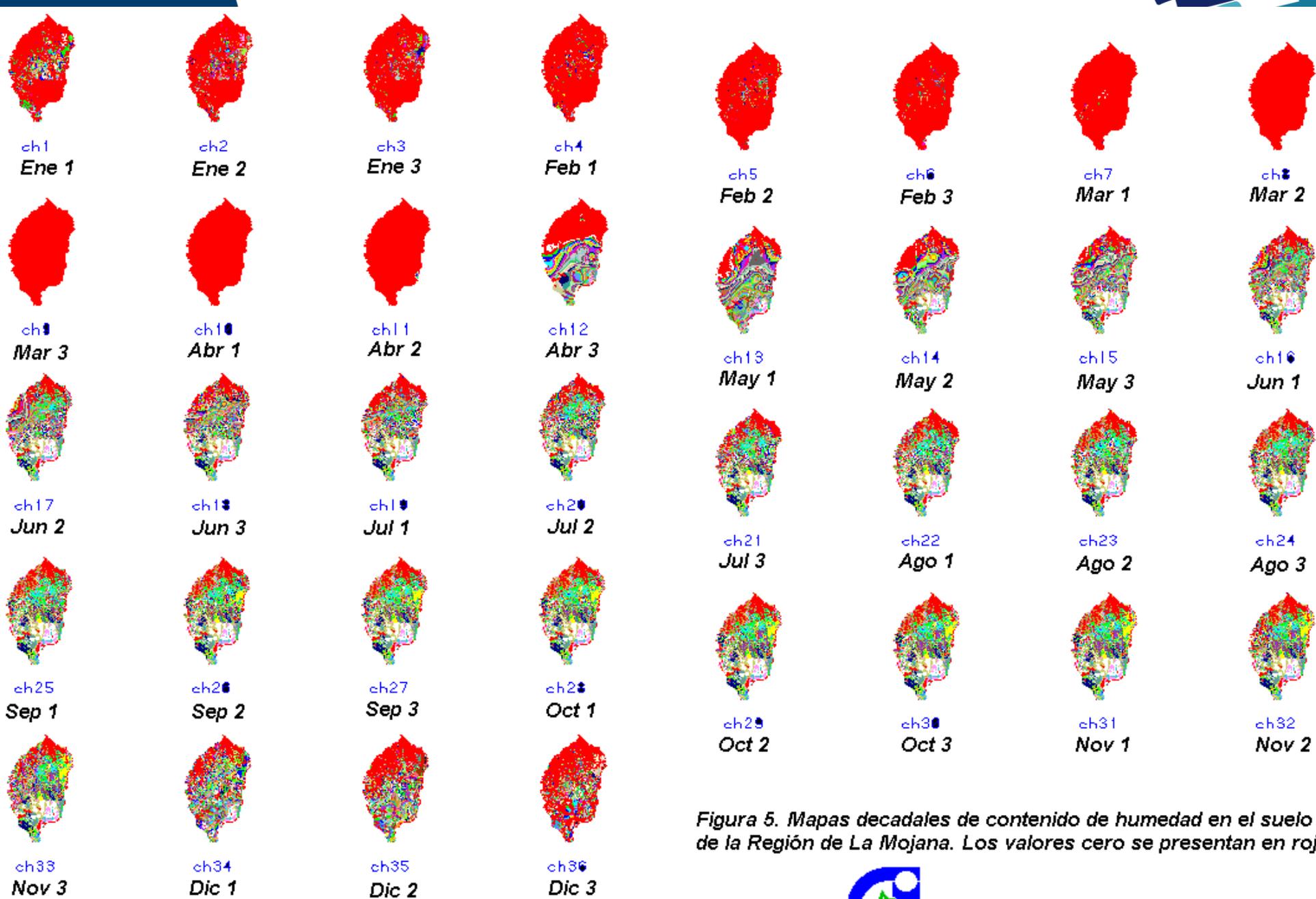


Figura 5. Mapas decadales de contenido de humedad en el suelo de la Región de La Mojana. Los valores cero se presentan en rojo

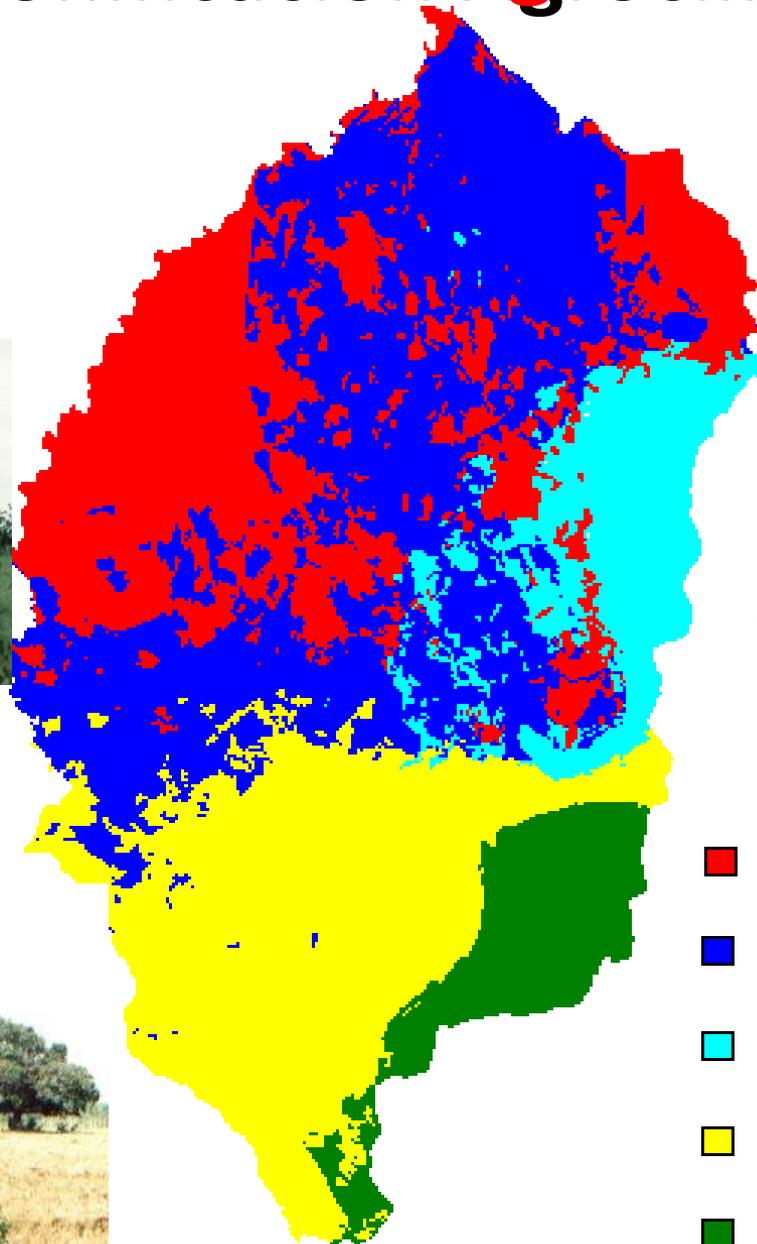
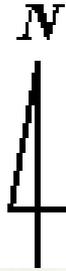


Corpoica

rpoica

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

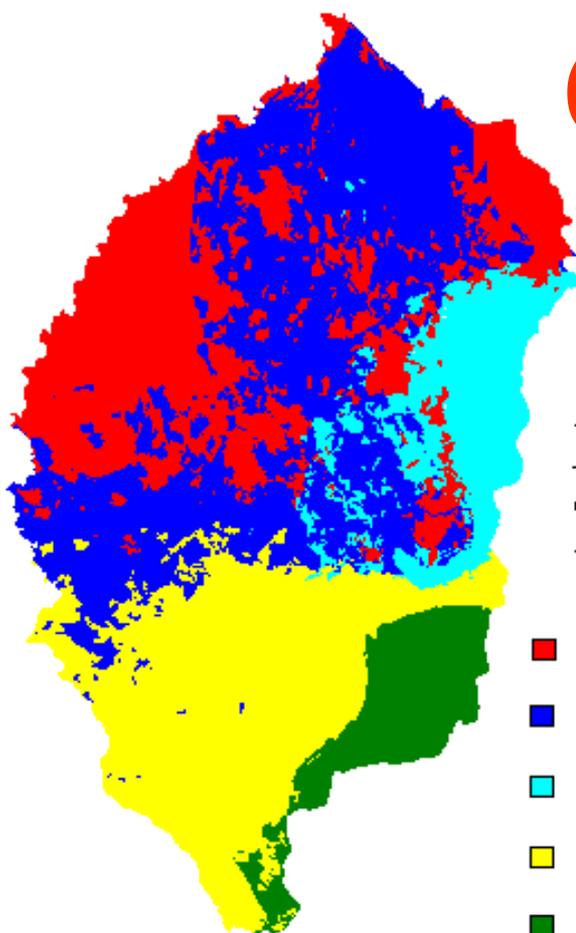
Zonificación Agroclimática



-  *Zona 1*
-  *Zona 2*
-  *Zona 3*
-  *Zona 4*
-  *Zona 5*



Características de las zonas



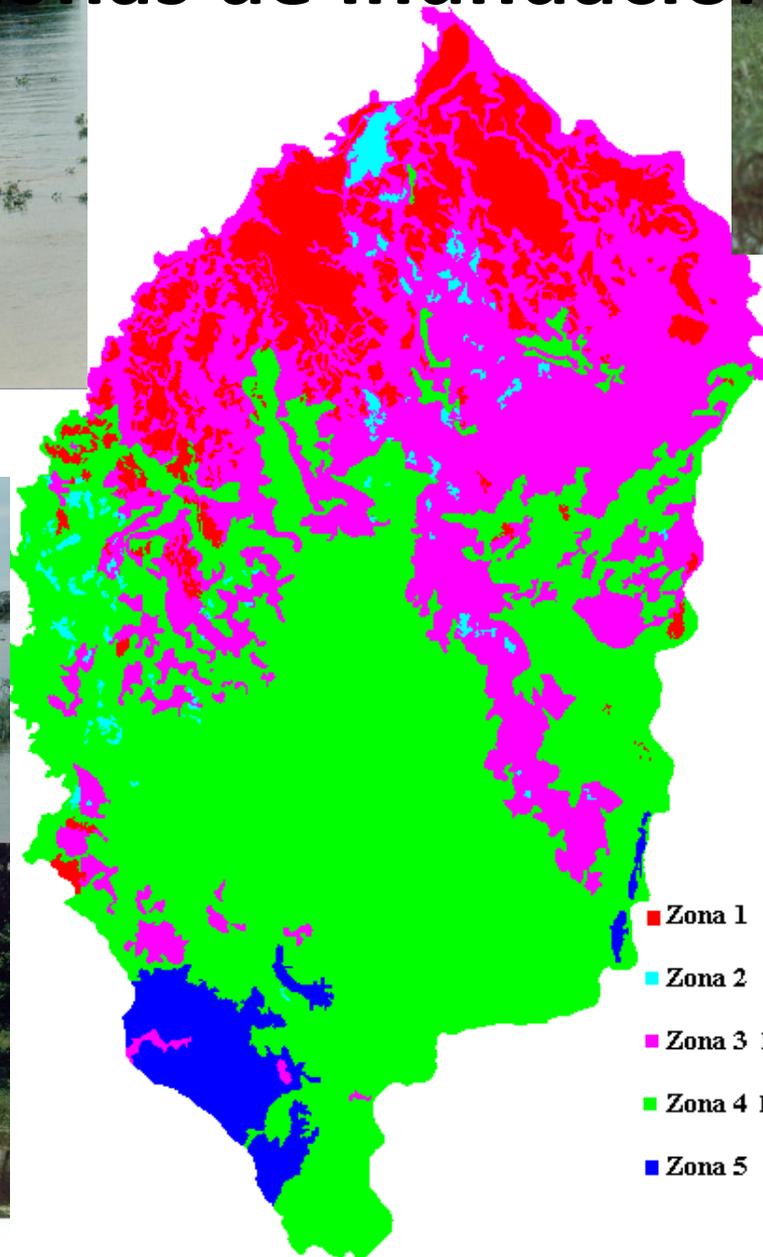
Zonificación Agroclimática de la región de La Mojana.

- Zona 1
- Zona 2
- Zona 3
- Zona 4
- Zona 5



| Zona # | Area (ha) | Excesos (mm/año) | P.Media (mm/año) | P.p(75%) (mm/año) | ETP (mm/año) | T.Media (°C) |
|--------|-----------|------------------|------------------|-------------------|--------------|-----------------------|
| 1 | 123587 | 0-262 | 1797-2815 | 747-1335 | 1197-1261 | 28(93.3%) |
| 2 | 172381 | 206-570 | 1916-3027 | 963-1651 | 1163-1261 | 28(84.4%) y 27(15.6%) |
| 3 | 51175 | 189-691 | 2331-3335 | 1107-1618 | 1225-1260 | 28(100%) |
| 4 | 117081 | 503-1197 | 2571-4109 | 1277-2180 | 1159-1259 | 27(51.8%) y 28(48%) |
| 5 | 35075 | 1035-1939 | 3493-4697 | 1909-2788 | 1205-1255 | 27(12.9%) y 28(87%) |

Zonas de Inundación



- Zona 1 C.A. Permanentes
- Zona 2 C.A. Temporales
- Zona 3 Inundación >6 mes
- Zona 4 Inundación <6mes
- Zona 5 Sin Inundación



Zonas Agroclimáticas considerando las áreas de Inundación de la Región de La Mojana

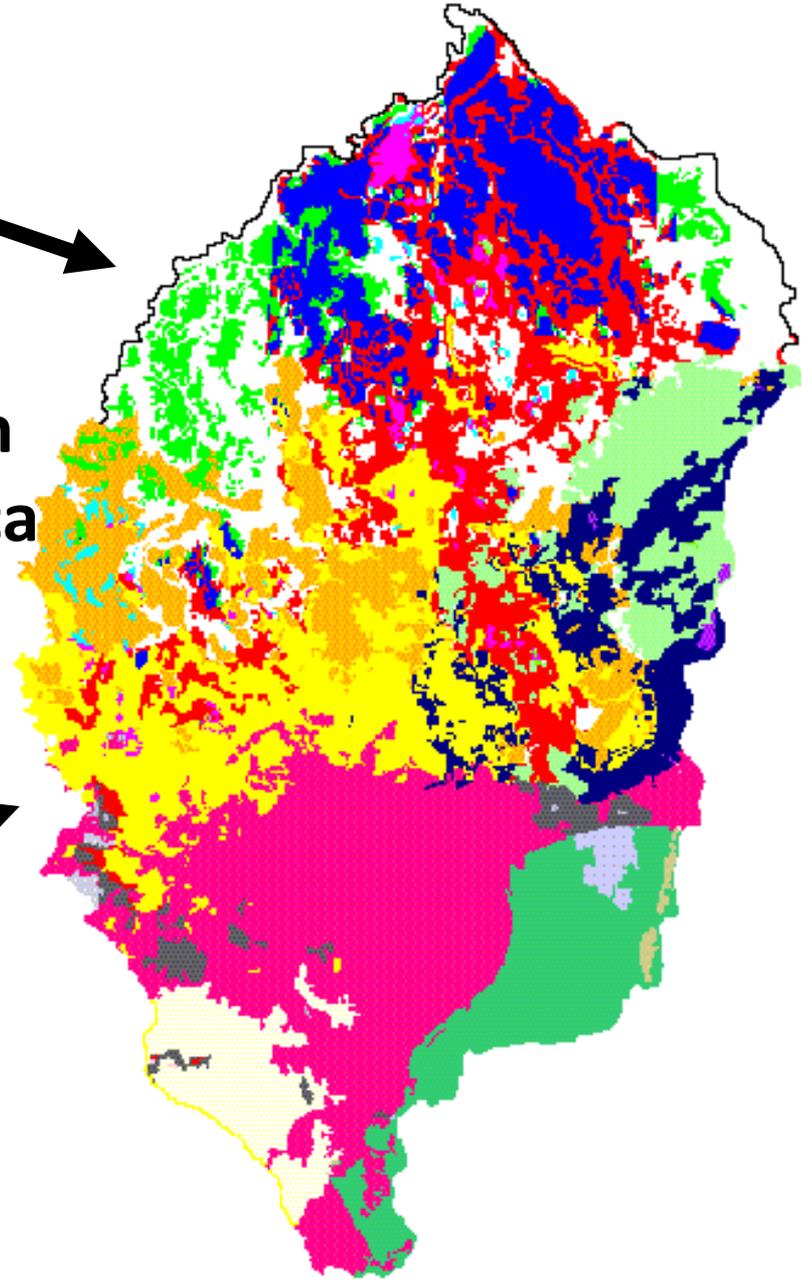
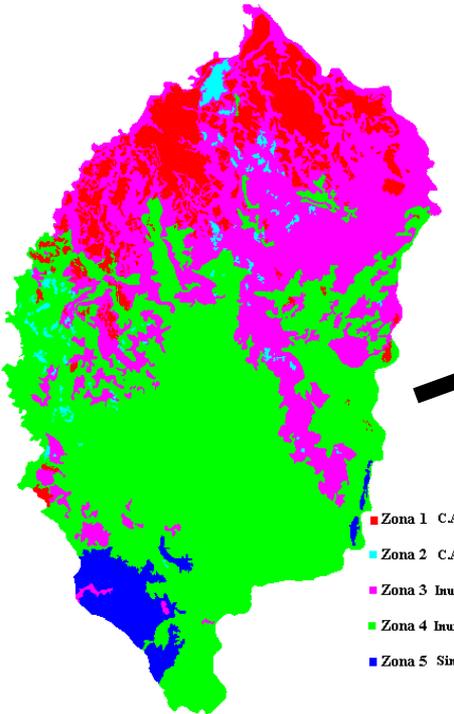
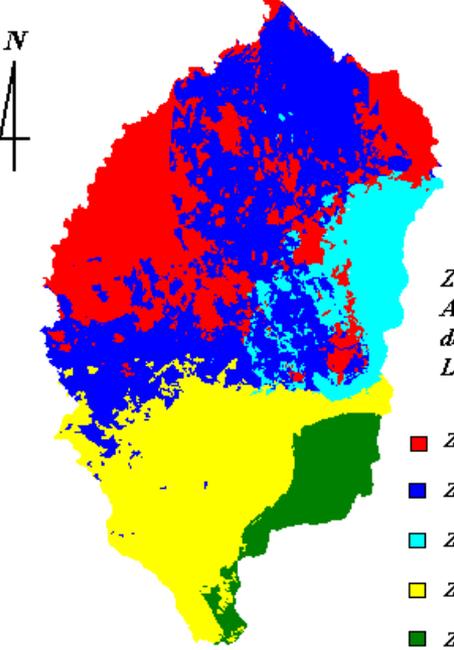
- Area 1
- Area 2
- Area 3
- Area 4
- Area 5
- Area 6
- Area 7
- Area 8
- Area 9
- Area 10
- Area 11
- Area 12
- Area 13
- Area 14
- Area 15
- Area 16
- Area 17
- Area 18
- Area 19
- Area 20
- Area 21

Zonificación Agroclimática de la región de La Mojana.

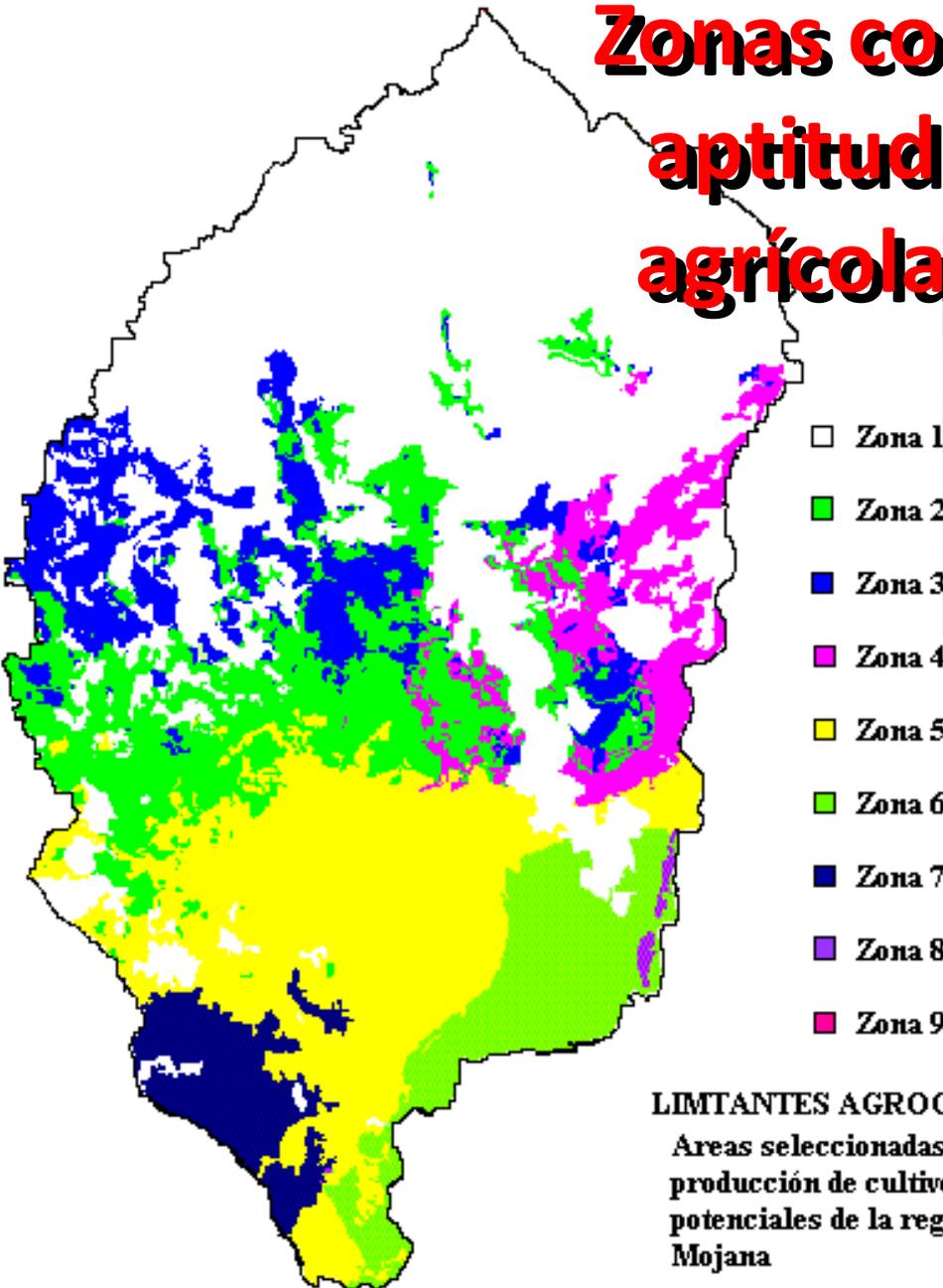
- Zona 1
- Zona 2
- Zona 3
- Zona 4
- Zona 5

Zonificación Agroclimática X Zonas de Inundación

- Zona 1 C.A.Permanentes
- Zona 2 C.A.Temporales
- Zona 3 Inundación >6 mes
- Zona 4 Inundación <6mes
- Zona 5 Sin Inundación



Zonas con aptitud agrícola



- Zona 1
- Zona 2
- Zona 3
- Zona 4
- Zona 5
- Zona 6
- Zona 7
- Zona 8
- Zona 9

LIMITANTES AGROCLIMATICAS
Areas seleccionadas con fines de producción de cultivos modales y potenciales de la región de La Mojana

Area en color blanco representa las zonas aptas para establecer cultivos.



Adaptabilidad de Cultivos potenciales

(Insumos Bajos)

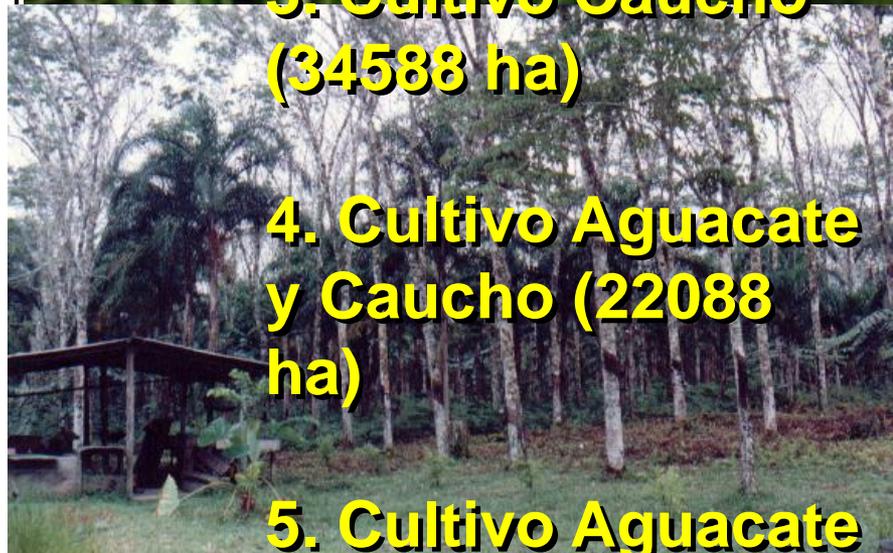
1. Areas no óptimas
(204669 ha).



2. Cultivo Sisal
(6494 ha)

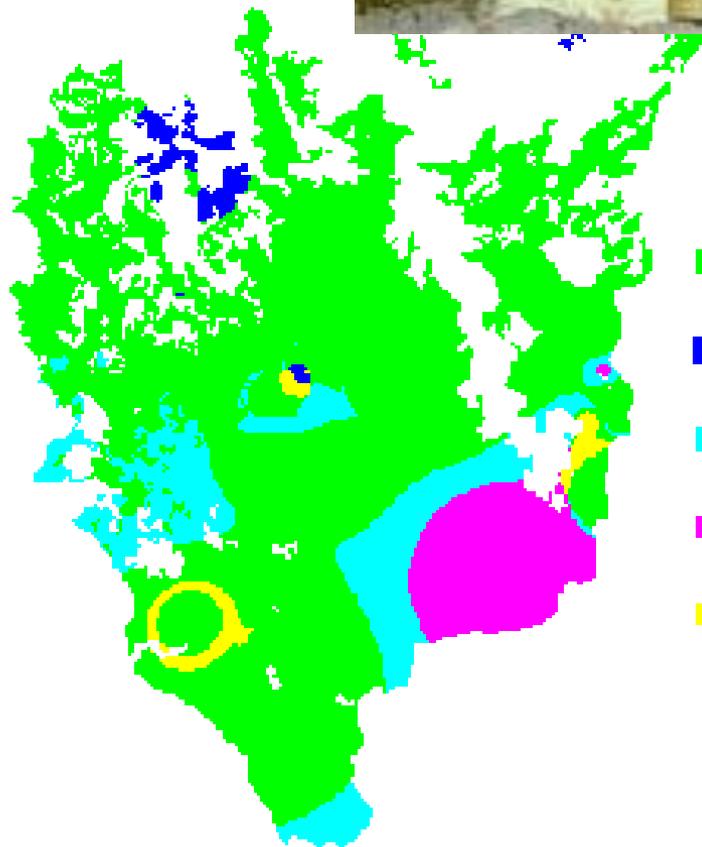


3. Cultivo Caucho
(34588 ha)



4. Cultivo Aguacate
y Caucho (22088
ha)

5. Cultivo Aguacate
(5175 ha)



- ZONA #1
- ZONA # 2
- ZONA # 3
- ZONA # 4
- ZONA # 5

Adaptabilidad de Cultivos potenciales (Insumos Altos)

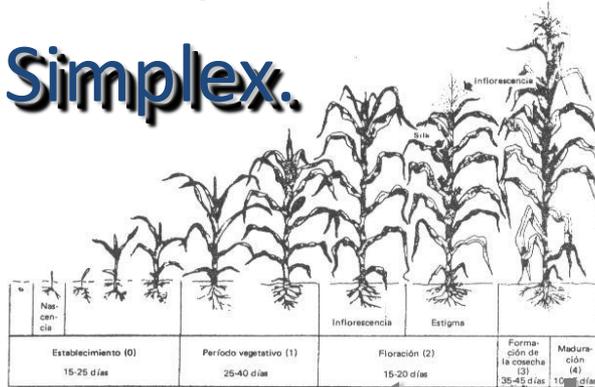


- ZONA #1
- ZONA #2
- ZONA #3
- ZONA #4
- ZONA #5
- ZONA #6
- ZONA #7
- ZONA #8

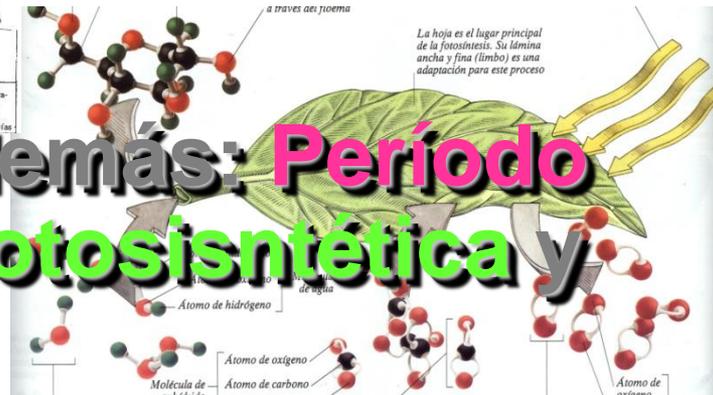


La Optimización Matemática

- Método Simplex.



- Se tiene en cuenta además: **Período Vegetativo**, **Cadena Fotosintética** y **Rendimiento**.



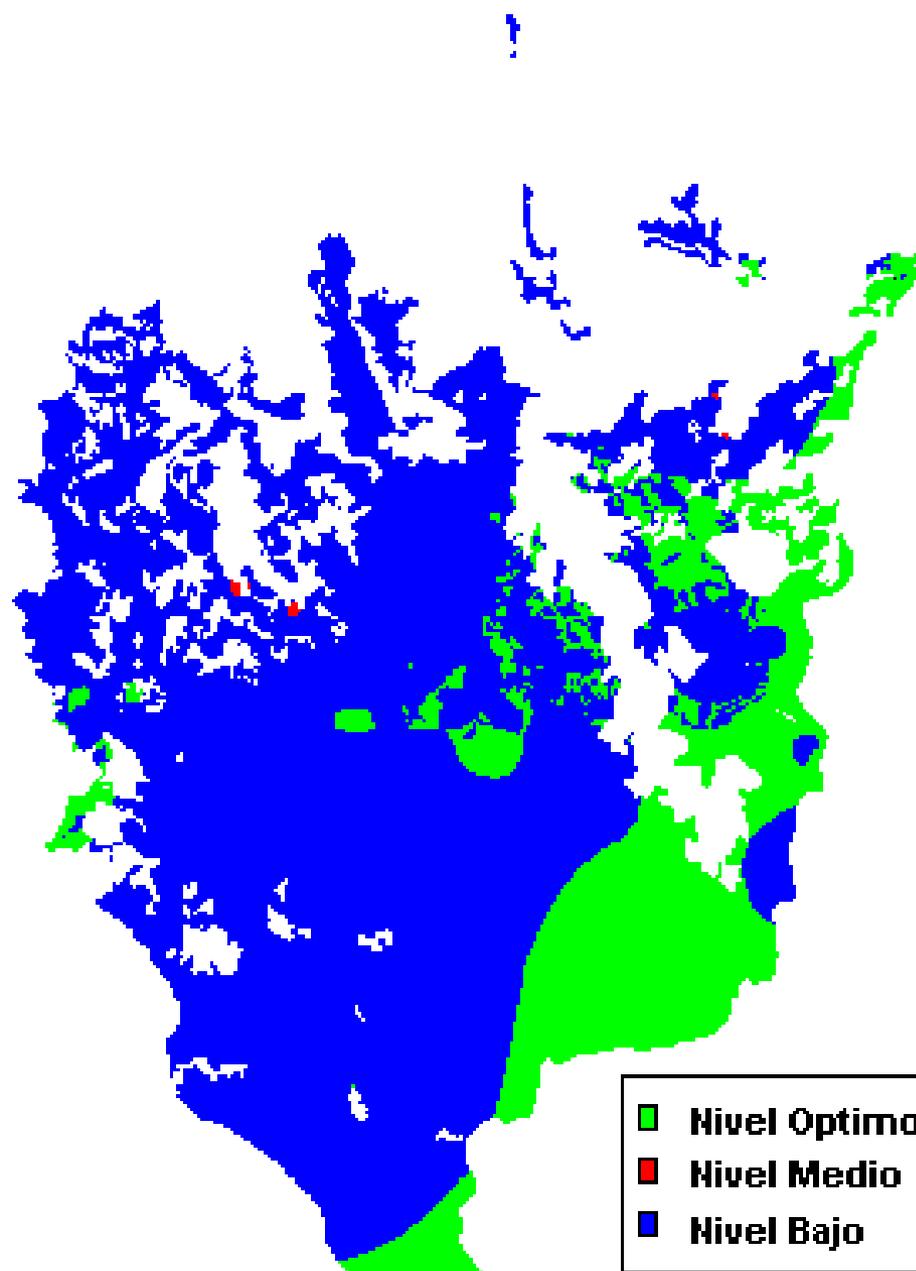
- Coeficiente del Cultivo **Kc**, como función de restricción.

MICROFOTOGRAFÍA DE HOJA
Lirio (*Lilium sp.*)



- Se utilizó el programa **QSB (Quantitative Systems For Business Plus Ver 1.0)**





Zonas de adaptabilidad (I.A.). Por Niveles, para la P.African

Cultivos potenciales por clasificación agronómica (proceso de selección)

| Clasificación agronómica | Cultivos (Inventario de cultivos) Inicial | Cultivos con adaptabilidad | Después del proceso de optimización | Área total (ha), para Adaptabilidad |
|--------------------------|--|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Cereales | Arroz, Maíz, Sorgo | Arroz, Maíz, Sorgo | Arroz, Sorgo | 127.862 |
| Oleaginosas | Girasol, Maní, Soya, Coco, Palma Africana | Girasol, Soya, Coco, Palma Africana | Coco y Palma Africana | 248.087 |
| Frutales | Aguacate, Banano, Borojo, Guayabo, Mango, Maracuya, Papayo, Piña. | Aguacate, Banano, Guayabo, Mango, Maracuya, Papayo, Piña. | Maracuya, Papaya | 253.256 |
| Pastos | Alemán, Angletón, Braquiaria, Carimagua, Elefante, Estrella. | Angletón, Braquiaria | Angletón, Braquiaria | 78.379 |
| Azucareras | Caña de Azúcar, Caña Panelera. | Ninguno | Ninguno | |
| Textiles | Algodón, Sisal. | Algodón, Sisal. | Sisal | 68.043 |
| Cítricos | Naranja, Limón | Naranja, Limón | Limón | 90.937 |
| Otros | Tabaco, Caucho. | Tabaco, Caucho | Tabaco, Caucho | 253.668 |
| Hortalizas | Berenjena. | Berenjena | Berenjena | 59.637 |
| Tubérculos | Yuca. | Yuca. | Yuca. | 72.837 |
| L. Forrajeras | Alfalfa. | Alfalfa. | Alfalfa. | 4.906 |
| Bebidas | Cacao | Cacao | Cacao | 272.000 |
| Maderables | Bambú, Peinemono, Sande, Cedro, Carra, Balso, Chanul, Chaquiuro, Aceite María. | Ninguno | Ninguno | |
| Leguminosas | Frijol, Caupi. | Ninguno | Ninguno | |

Conclusiones

- 
- **El conocimiento de la climatología de cada zona permite visualizar a escala apropiada las condiciones reinantes y facilita la planificación para la óptima utilización de los recursos en las diferentes actividades agropecuarias.**

Conclusiones (continuación)

➤ Después de realizar el proceso de optimización de los cultivos que resultaron adaptables considerando Insumos Altos queraron el:

Arroz, Sorgo, Coco, Palma Africana, Maracuyá, Papayo, Angleton, Braquiaria, Sisal, Limón, Tabaco, Caucho, Berenjena, Yuca, y Cacao, como cultivos de mayor probabilidad de producción en la región.





UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



Determinación de la huella hídrica y modelación de la producción de biomasa de cultivos forrajeros a partir del agua en la sabana de Bogotá (Colombia)



Tesis Doctoral en Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

2015

64

 **Corpoica**

Introducción

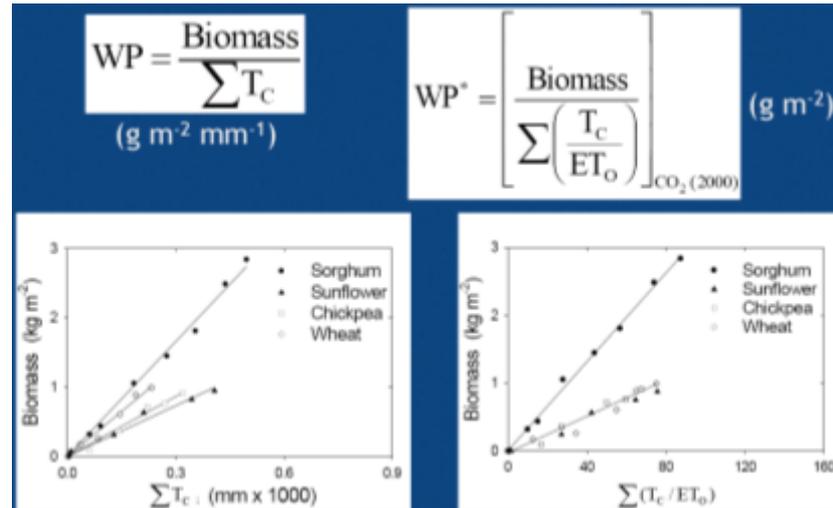
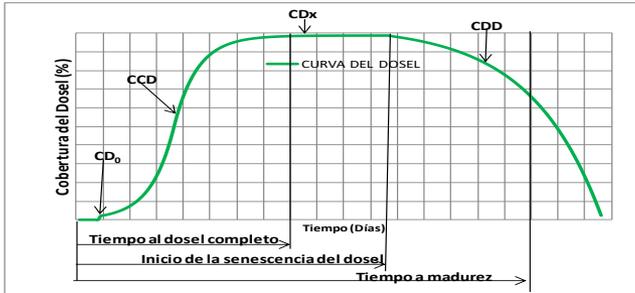
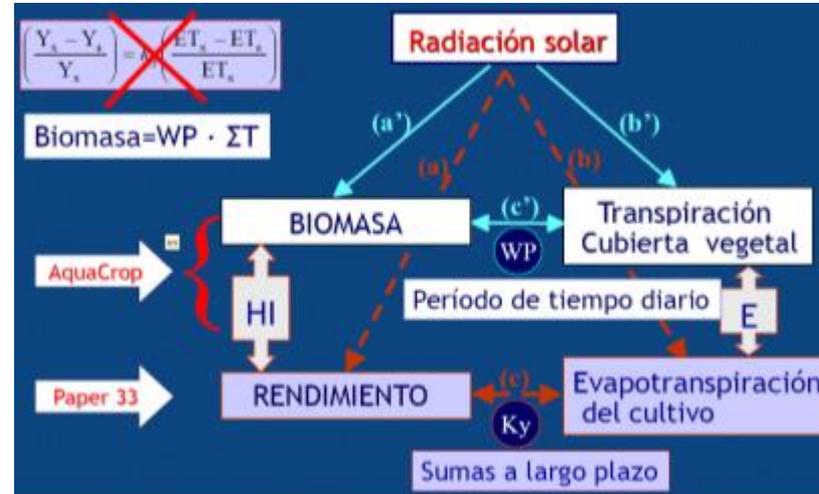
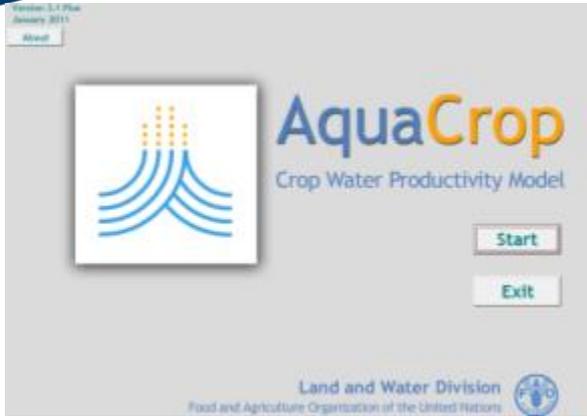
- Desde el punto de vista **Científico**

- El nuevo enfoque planteado por FAO en el modelo AquaCrop (2009) (Steduto, P. et al, 2007) Raes, D. et al, (2009) y Ferreres, E. et al, (2009), Hsiao, T. et al, (2009).
 - Considerar independientemente el componente de evaporación y transpiración.
 - La productividad hídrica normalizada es el motor para el cálculo de la biomasa.
 - La biomasa y el índice de cosecha son determinados en función de la productividad hídrica del cultivo.
 - Cobertura del Dosel por el IAF



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Introducción



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



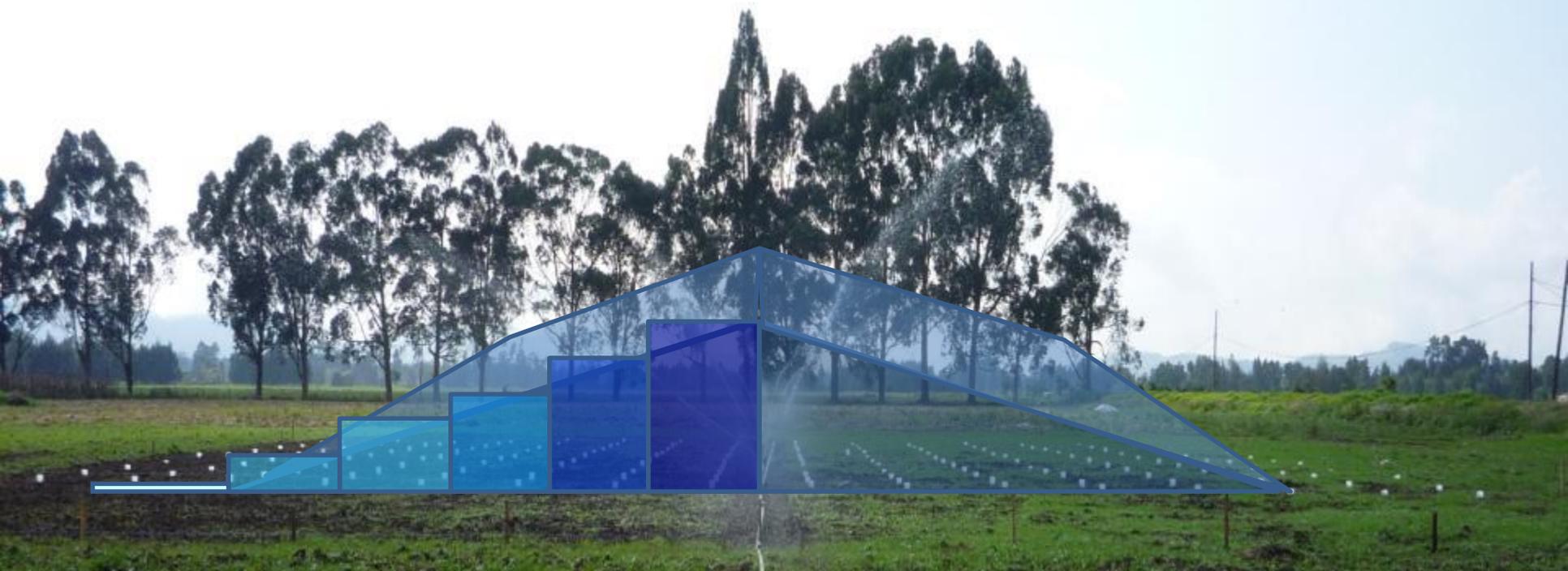
Objetivos

- **Principal**

- Determinar la potencialidad de producción de biomasa de cultivos forrajeros con base en las relaciones hídricas con sus características fisiológicas, los niveles de consumo de agua de las especies, y las condiciones de eficacia del clima y el suelo presentes.

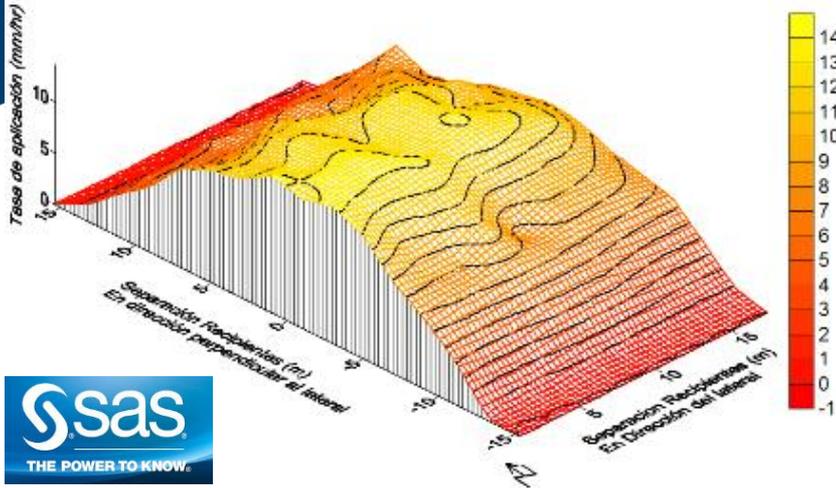
- **Específicos:**

- Determinar la biomasa total y potencial y la huella hídrica de los cultivos forrajeros de interés como resultado de la captura de energía presente y la evapotranspiración real.
- Determinar los parámetros y variables requeridos por el modelo AquaCrop para la estimación de la potencialidad productiva de biomasa para los cultivos forrajeros de interés, teniendo en cuenta el clima y el suelo de su entorno de producción.
- Calibrar y validar el modelo AquaCrop para las especies forrajeras de interés con el objeto de establecer un modelo de obtención de biomasa a partir del agua de estas especies forrajeras a nivel general.
- Establecer el grado de sensibilidad de los parámetros y variables de mayor importancia en el proceso de estimación de la producción de biomasa de cultivos forrajeros.



- Método del gradiente de Hanks, J. (1976)

Metodología



- Diseño experimental:
 - Bloques completos al azar, bloques(t), con cuatro repeticiones y 6 niveles de riego x 2 mitades.

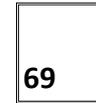
Canal de Drenaje

| Avena trirajera | | | | |
|-----------------|----|----|----|----|
| 45 | 46 | 47 | 48 | N6 |
| 44 | 43 | 42 | 41 | N5 |
| 37 | 38 | 39 | 40 | N4 |
| 36 | 35 | 34 | 33 | N3 |
| 29 | 30 | 31 | 32 | N2 |
| 28 | 27 | 26 | 25 | N1 |
| 5 | 6 | 7 | 8 | |

| | | | | |
|----|----|----|----|----|
| 21 | 22 | 23 | 24 | N1 |
| 20 | 19 | 18 | 17 | N2 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | N3 |
| 12 | 11 | 10 | 9 | N4 |
| 5 | 6 | 7 | 8 | N5 |
| 4 | 3 | 2 | 1 | N6 |
| 4 | 3 | 2 | 1 | |

| | Raigras | | | | |
|----|---------|-----|-----|-----|--------|
| N6 | 97 | 98 | 99 | 100 | 2.75 m |
| N5 | 104 | 103 | 102 | 101 | |
| N4 | 105 | 106 | 107 | 108 | |
| N3 | 112 | 111 | 110 | 109 | |
| N2 | 113 | 114 | 115 | 116 | |
| N1 | 120 | 119 | 118 | 117 | |
| | 17 | 18 | 19 | 20 | 36 m |
| N1 | 121 | 122 | 123 | 124 | |
| N2 | 128 | 127 | 126 | 125 | |
| N3 | 129 | 130 | 131 | 132 | |
| N4 | 136 | 135 | 134 | 133 | |
| N5 | 137 | 138 | 139 | 140 | |
| N6 | 144 | 143 | 142 | 141 | |
| | 24 | 23 | 22 | 21 | 40m |

MUESTREO A
MUESTREO B



Caseta de Bombeo

Canal de Riego

Modelo Lineal Multivariado Mixto:

$$X = A * B + E$$

X: Matriz de datos de producción

[n=filas(4 rep*t bloques), p=columnas, variables respuestas(riego)]

A: Matriz de diseño

B: Matriz de parámetros

E: Matriz de errores

Puede haber una correlación y variabilidad no constante ente los datos



- Variables independientes
 - **Niveles de riego:** niveles de agotamiento de 0.2, a sin riego (Control).
- Variables respuesta
 - Forraje ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Biomasa M. Seca ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Cobertura del dosel (%), cosecha ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Profundidad de raíces (m), y Altura de planta (m).
- Variables observadas adicionales
 - **Previamente:** Hidrofísicas del suelo (CC, PMP, %Sat, $K_{a_{\text{saturada}}}$, D_a , Retención de Humedad, Infiltración, LAAT), Química del suelos (MO, P, S, Ca, Mg, K, Fe, Cu, Mn, Zn, B, pH, Al, Na, CE)
 - **Del cultivo:** Fenología, fechas
 - Elementos climáticos (P, Ev, HR%, BS, T° (med, max, min), Vv)
 - Humedad del suelo de 0 a 30 cm (cada dos días).
- Cálculos
 - Balances hídricos diarios, ET_o , K_c , K_{cb} , K_e , curvas de cobertura, curvas de biomasa, curvas de humedad del suelo, funciones de producción.
 - Se miden y calculan los parámetros y variables de entrada al modelo.

Experimentos de estrés hídrico

Tabla 1. Tratamientos de estrés hídrico realizados en el experimento para Avena Forrajera (C.I. Tibaitatá, 2012 – 2013).

| Período (DDS) | 0 - 21 | 22 - 37 | 38 - 45 | 46 - 51 | 52 - 67 | 68 - 78 | 78 - 85 | 86 - 113 | 114 - 118 | 119 - 120 | 120 - 124 |
|---------------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Tratamiento | Niveles de Agotamiento (% AAT) | | | | | | | | | | |
| Control | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T1 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 75 | 80 | 85 |
| T2 | 0 | 20 | 40 | 60 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 92 | 94 |
| T3 | 0 | 30 | 60 | 80 | 85 | 87 | 89 | 91 | 93 | 95 | 97 |
| T4 | 0 | 40 | 75 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 103 | 105 |



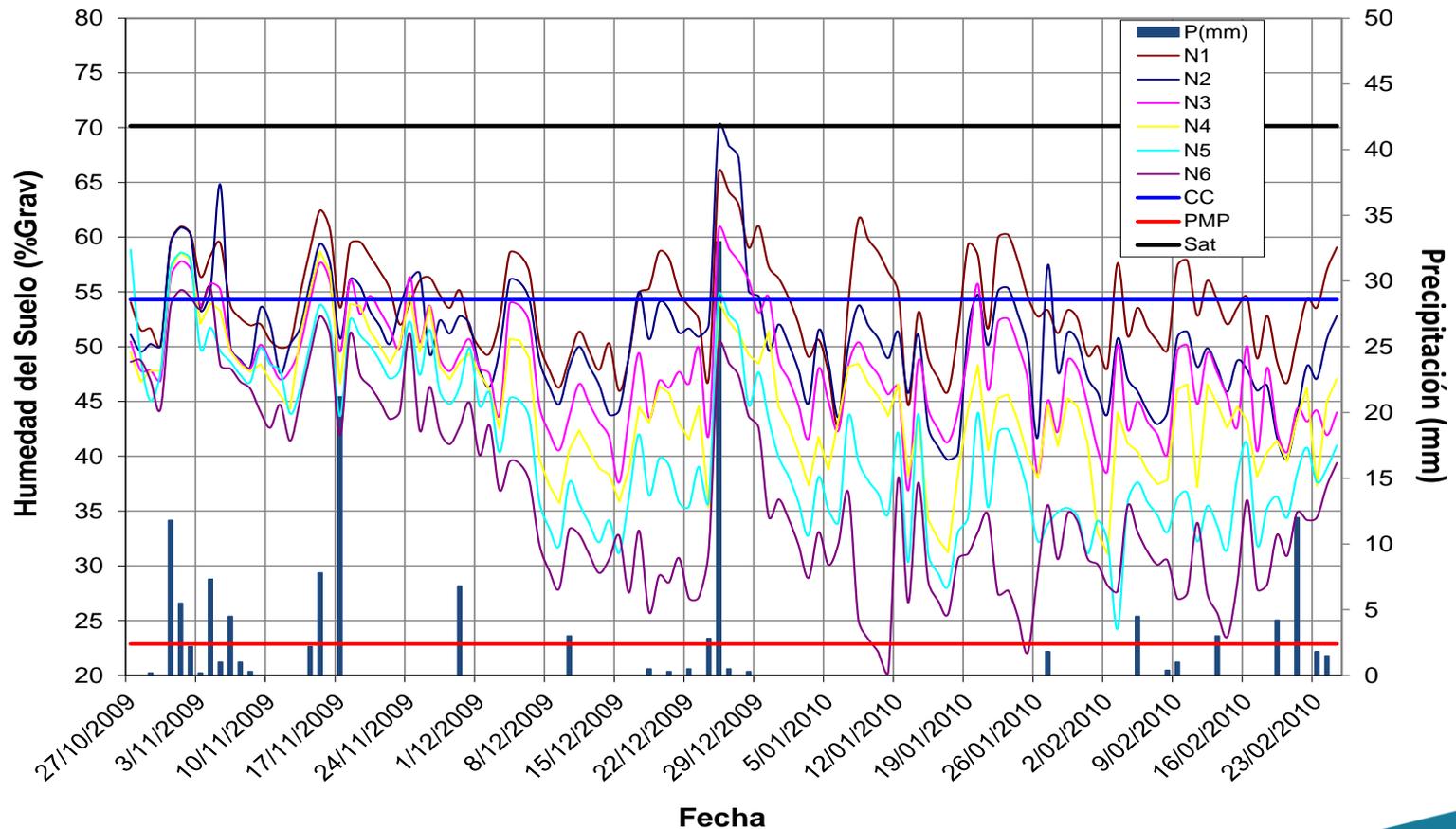
Experimentos de estrés hídrico

Seguimiento de variables respuesta:

- Cobertura del dosel
- Conductancia estomática
- Altura de planta
- Ancho de la hoja

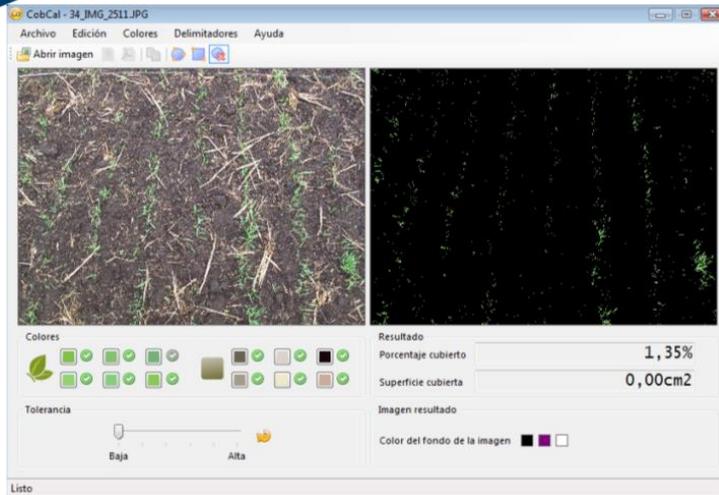


Los Tratamientos

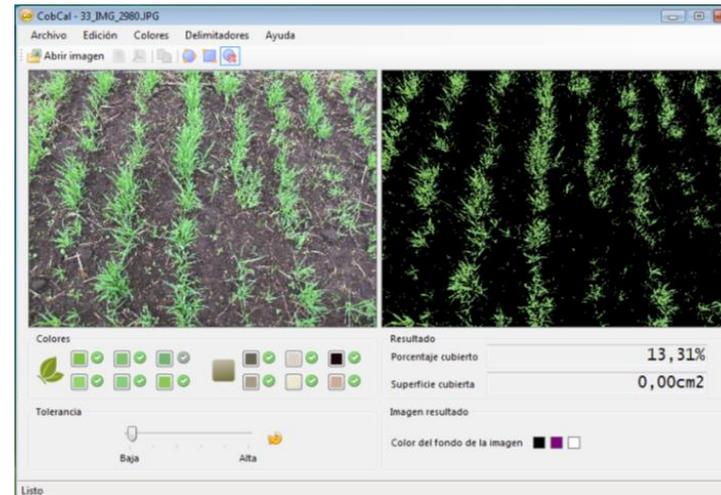


Análisis Previos

- Cs

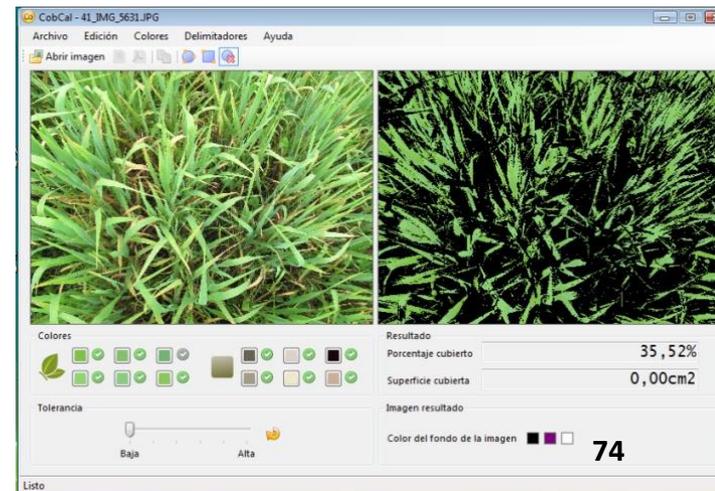


- CCD



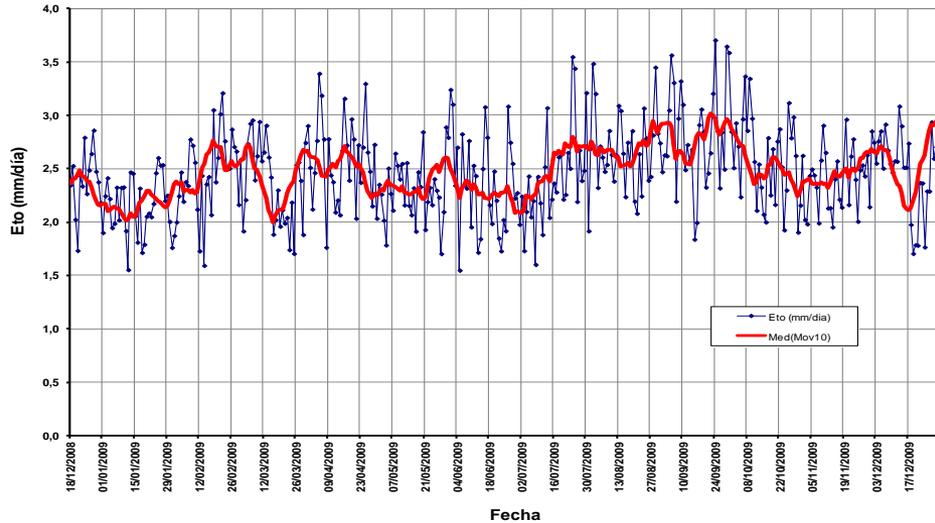
Cobertura del dosel de una planta al momento de emergencia

- CDD



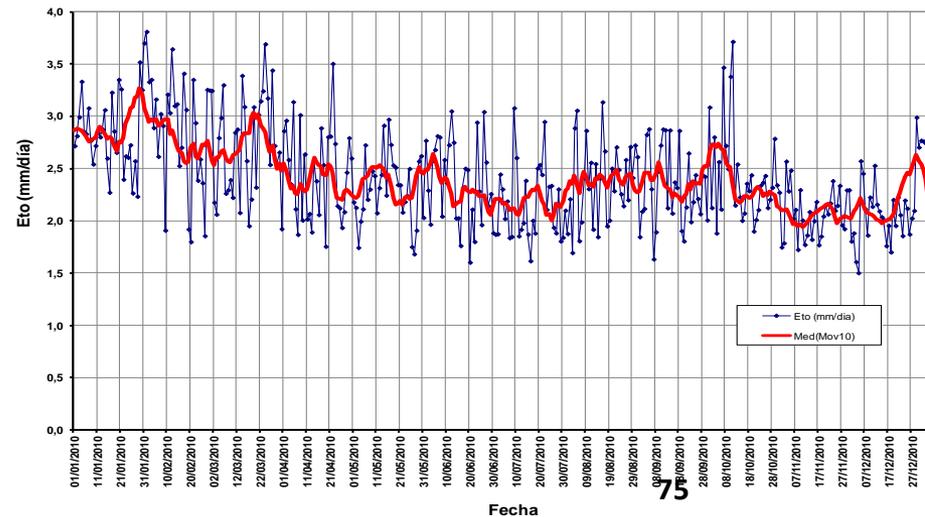
The ETo Calculator

Evapotranspiración de Referencia
Ecuación de Penman - Monteith
C.I.Tibaitatá, Sabana de Bogotá, Colombia, 2009



Evapotranspiration
from a reference surface

Evapotranspiración de Referencia
Ecuación de Penman - Monteith
C.I. Tibaitatá, Sabana de Bogotá, Colombia (mm/día) 2010



ET_0

- ET_0 promedio
- (2009) = 2.46 mm.día⁻¹, (1.55 a 3.7),
para 2010 = 2.42 mm.día⁻¹, (1.5 a 3.8)



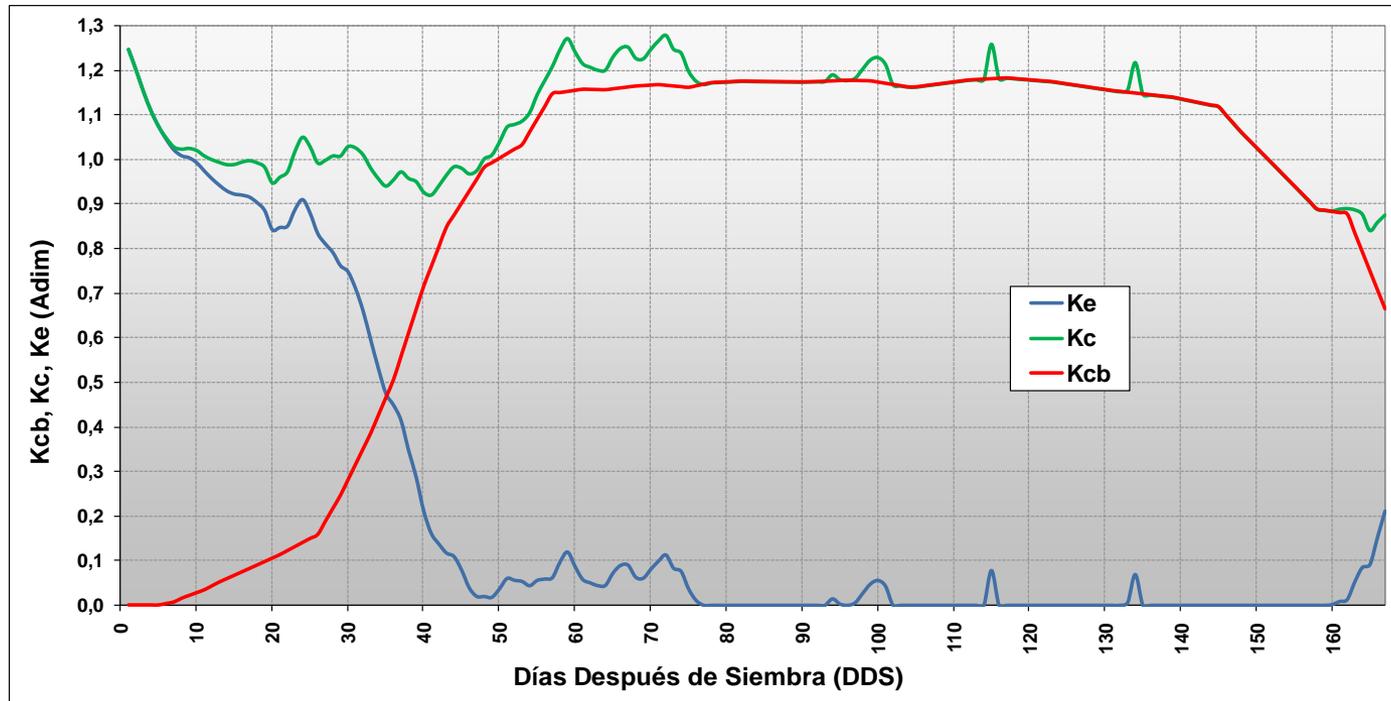
Resultados

Estados fenológicos de los ciclos experimentales de avena forrajera realizados en este estudio.

| Estados Fenológicos | 1er Cultivo | | 2do Cultivo | | 3er Cultivo | | 4to Cultivo | |
|-----------------------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-----|
| | Fecha | DDS | Fecha | DDS | Fecha | DDS | Fecha | DDS |
| Siembra | 21/01/2009 | 0 | 26/05/2009 | 0 | 14/10/2009 | 0 | 18/03/2010 | 0 |
| Emergencia al 90% | 05/02/2009 | 15 | 10/06/2009 | 15 | 21/10/2009 | 7 | 31/03/2010 | 13 |
| Estado de Bota | 19/04/2009 | 89 | 24/08/2009 | 90 | 27/01/2010 | 105 | 22/06/2010 | 96 |
| Inicio de espigación | 28/04/2009 | 97 | 01/09/2009 | 98 | 06/02/2010 | 115 | 01/07/2010 | 105 |
| Inicio de floración | 20/05/2009 | 119 * | 24/09/2009 | 121 * | 17/02/2010 | 126 * | 08/07/2010 | 112 |
| Formación de Grano Acuoso lechoso | 27/05/2009 | 126 * | 30/09/2009 | 127 * | 22/02/2010 | 131 * | 13/07/2010 | 117 |
| Máxima Expansión de la Raíz | 30/05/2009 | 129 * | 03/10/2009 | 130 * | 25/02/2010 | 134 * | 16/07/2010 | 120 |
| Grano harinoso Duro | 03/06/2009 | 133 * | 07/10/2009 | 134 * | 28/02/2010 | 137 * | 19/07/2010 | 123 |
| Máxima Cobertura Dosel | 15/05/2009 | 114 | 18/09/2009 | 115 | 25/02/2010 | 134 | 19/07/2010 | 123 |
| Inicio de senescencia | 04/06/2009 | 134 * | 08/10/2009 | 135 * | 01/03/2010 | 138 * | 20/07/2010 | 124 |
| Senescencia al 30% | 17/07/2009 | 177 * | 20/11/2009 | 178 * | 13/04/2010 | 181 * | 01/09/2010 | 167 |

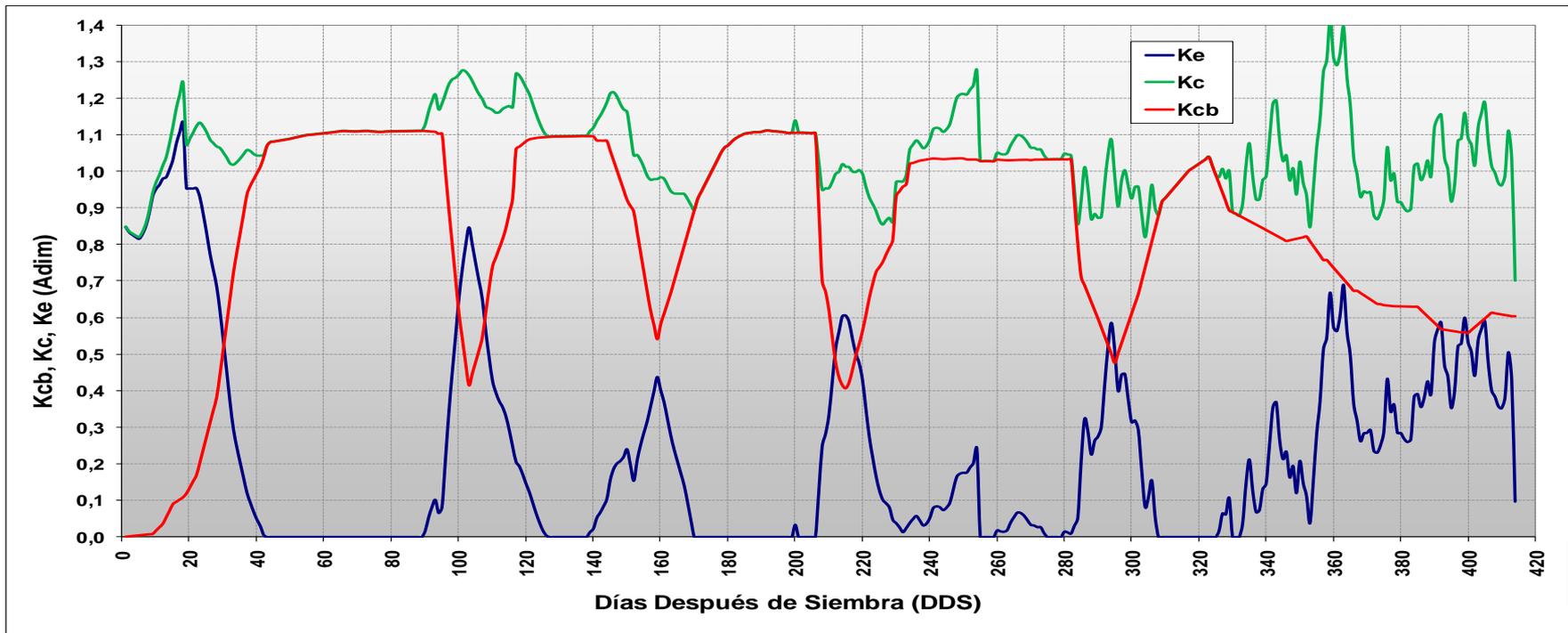
DDS: Días después de siembra. * Fechas estimadas, las demás fechas fueron observadas.

Curvas Kc, Kcb, Ke para Avena forrajera C.I. Tibaitatá, Sabana de Bogotá, Colombia



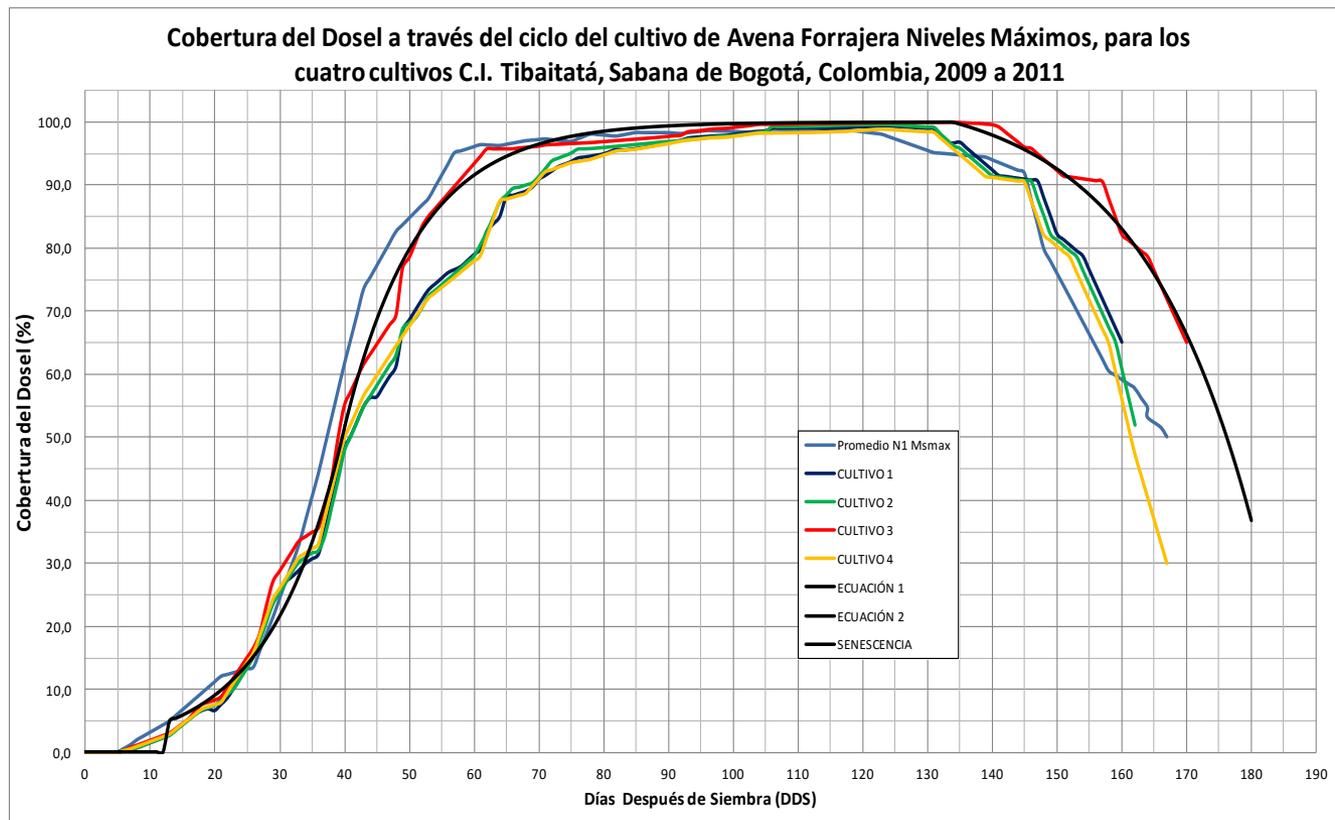
• Avena Forrajera: Kcbx = 1.17 a los 69 DDS, hasta inicio de senescencia a los 126 DDS

Curvas Kc, Kcb, Ke para Raigrás C.I. Tibaitatá Sabana de Bogotá, Colombia



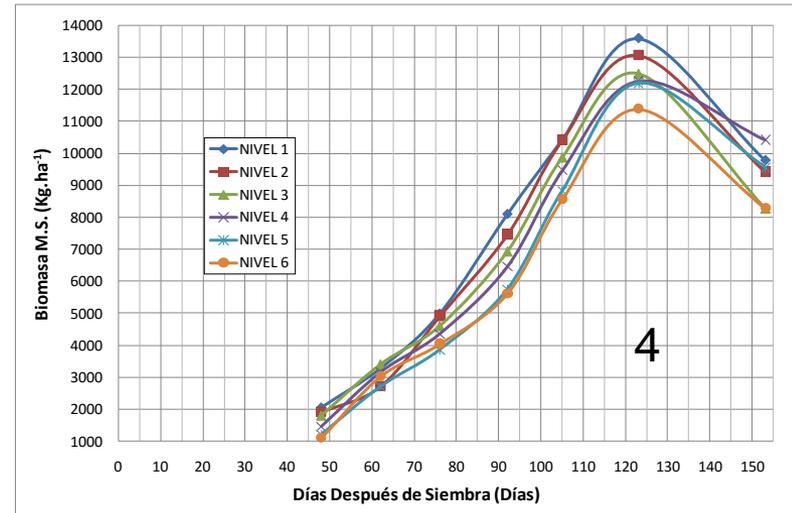
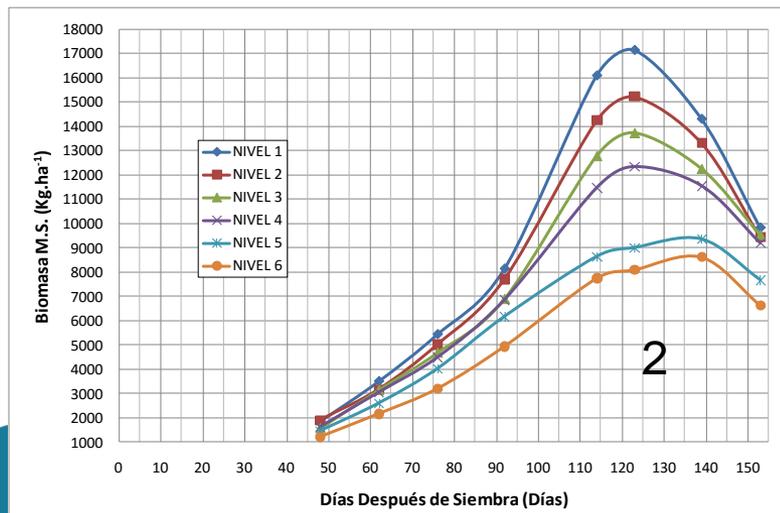
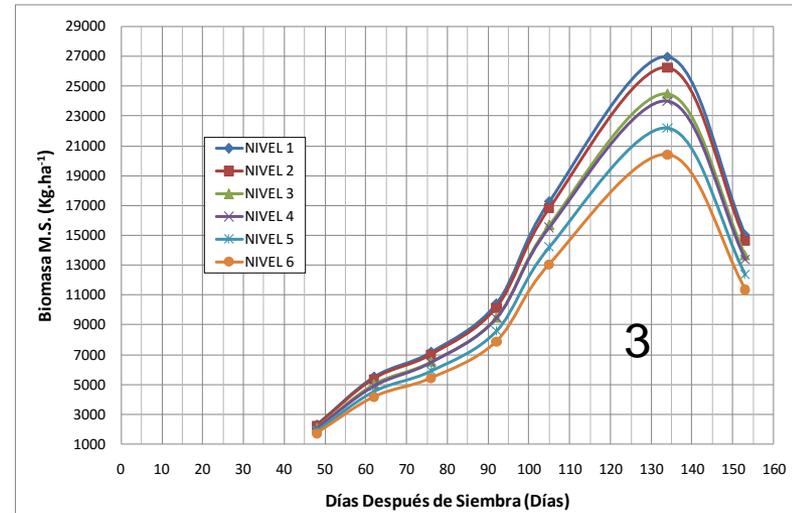
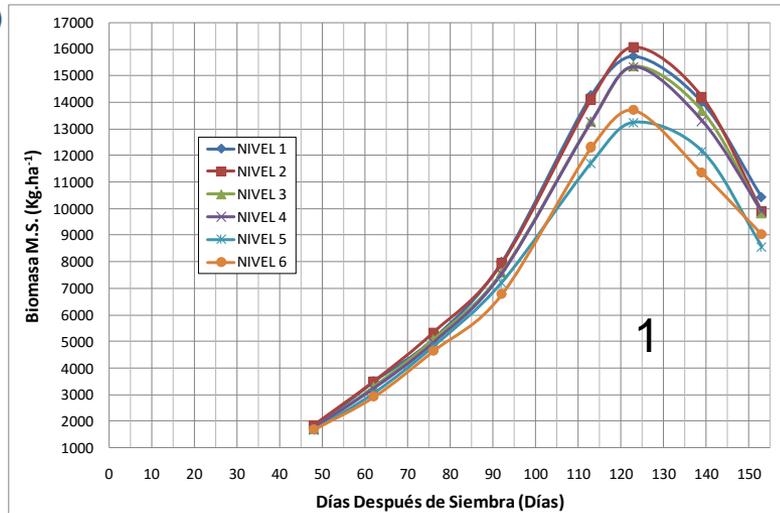
- Raigrás: Kcbx = 1.01 promedio, con variaciones desde 0.96 hasta 1.1 en los demás cortes.

Resultados



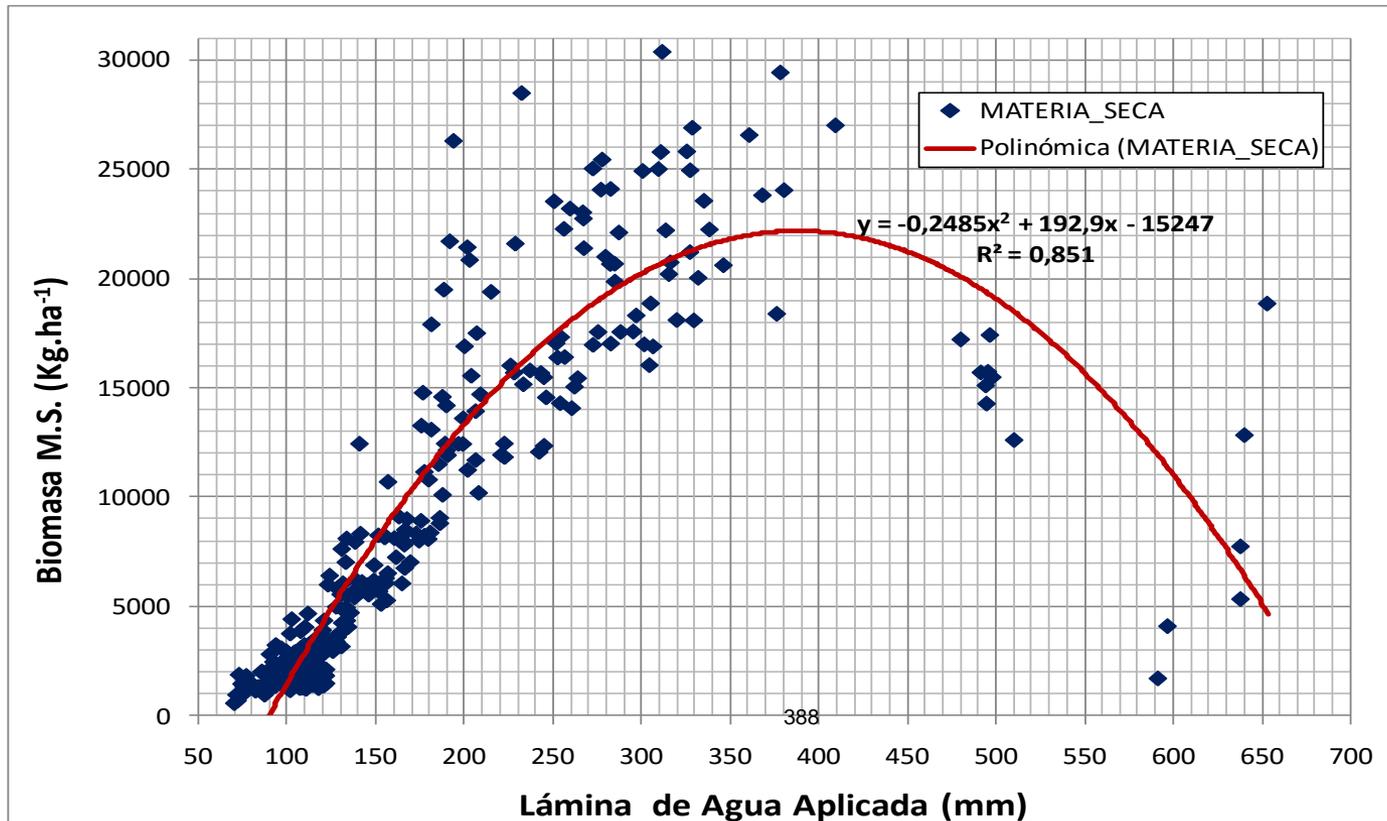
Cobertura del dosel a través del ciclo del cultivo Para Avena Forrajera Niveles Máximos

Resultados



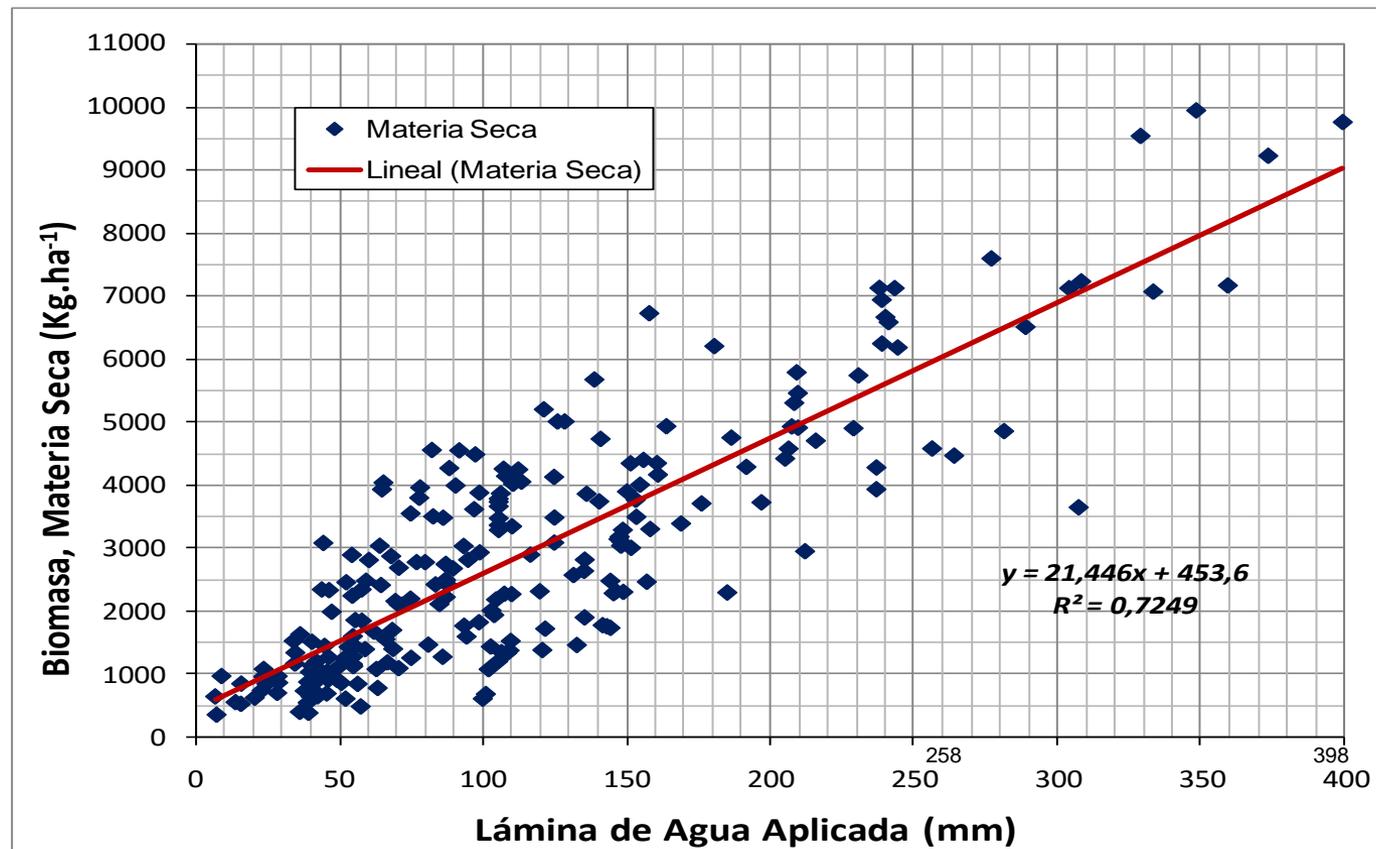
Producción de Biomasa para Avena Forrajera C.I. Tibaitatá, Sabana de Bogotá (Colombia, 2009 y 2010)

Resultados



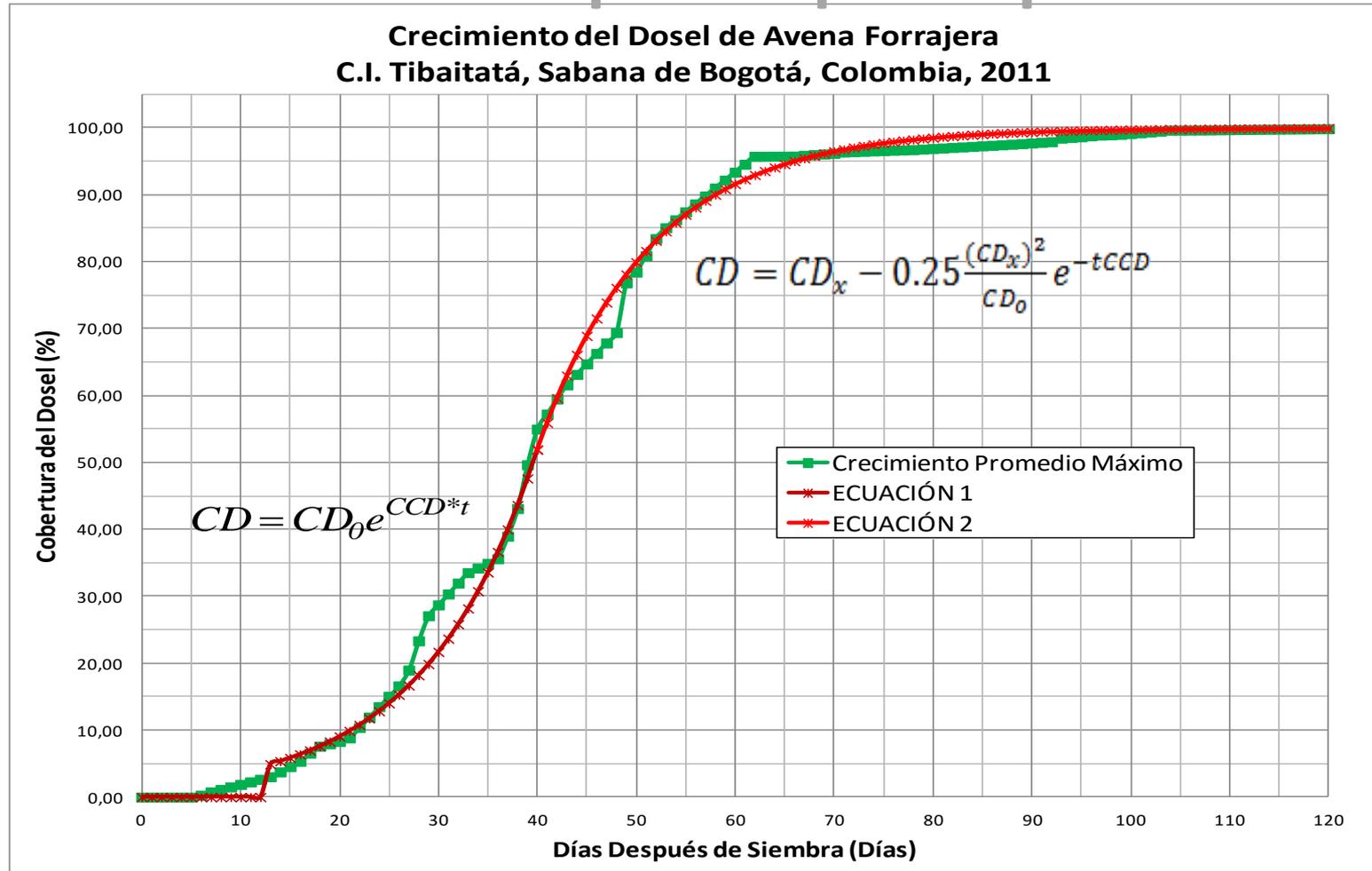
Función de producción para Avena Forrajera

Resultados



Función de Producción para Raigrás

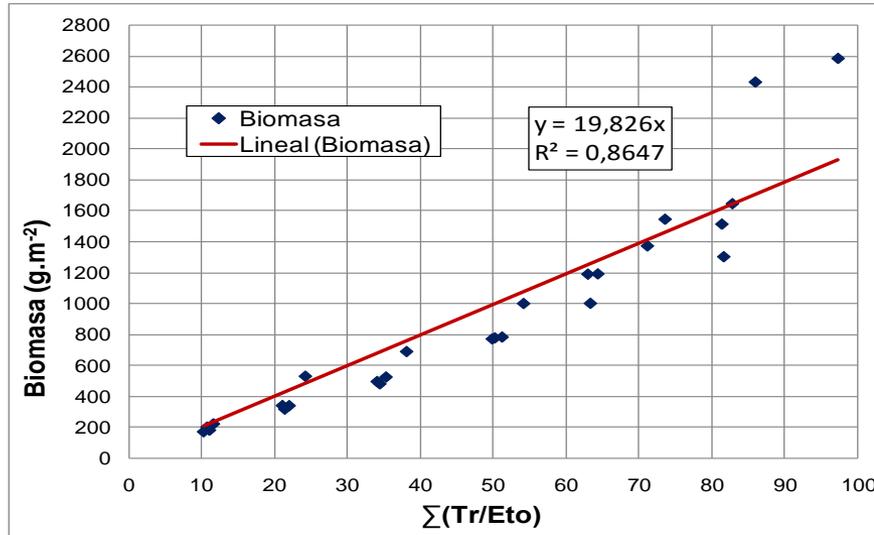
Variables para AquaCrop



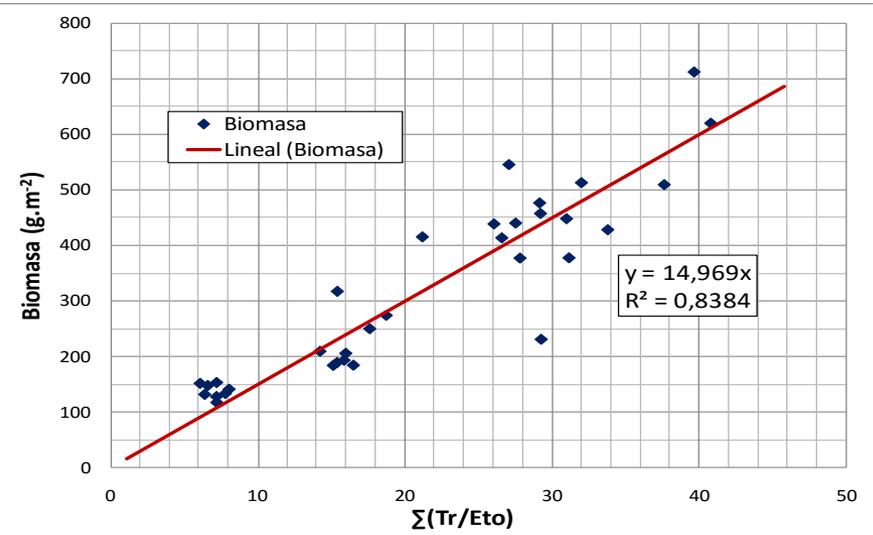
- $CCD = 8,736\%$, Líneas rojas, equis

VARIABLES PARA AQUACROP

Productividad Hídrica Normalizada para Forrajes estudiados



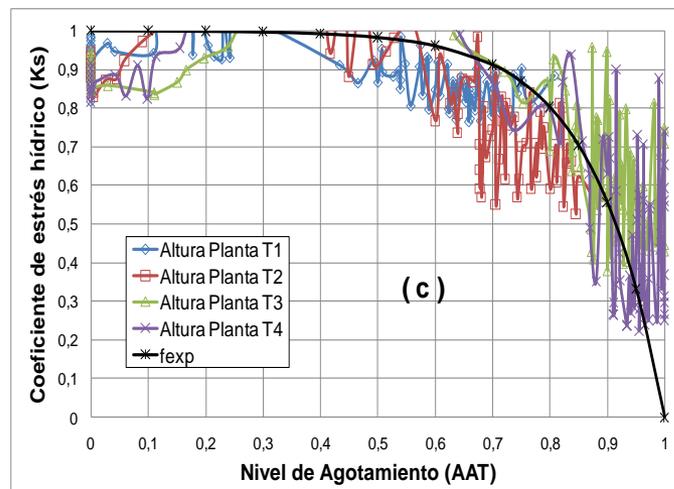
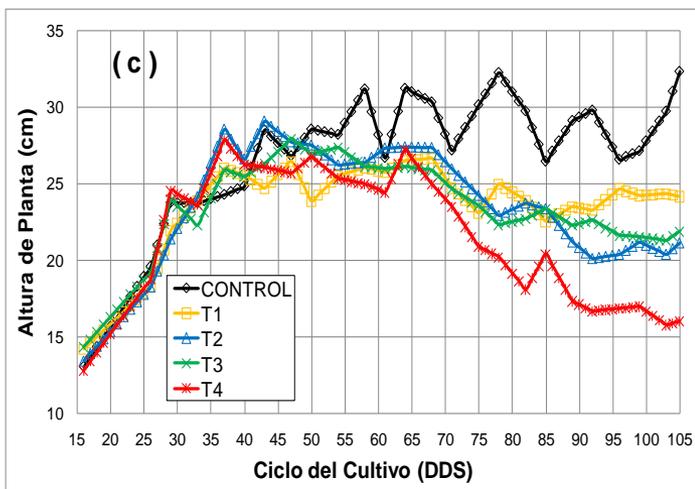
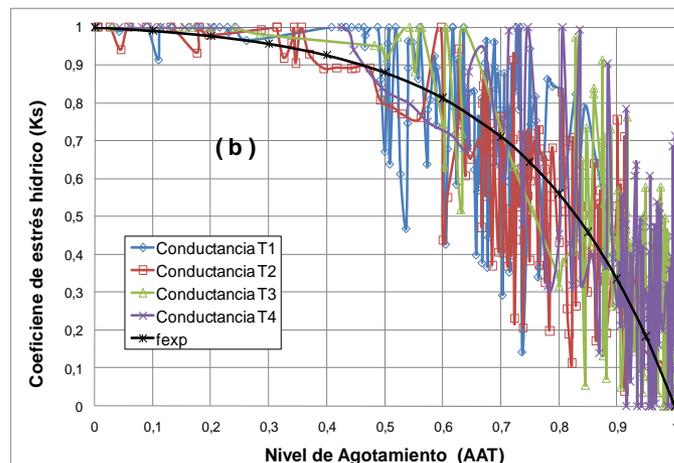
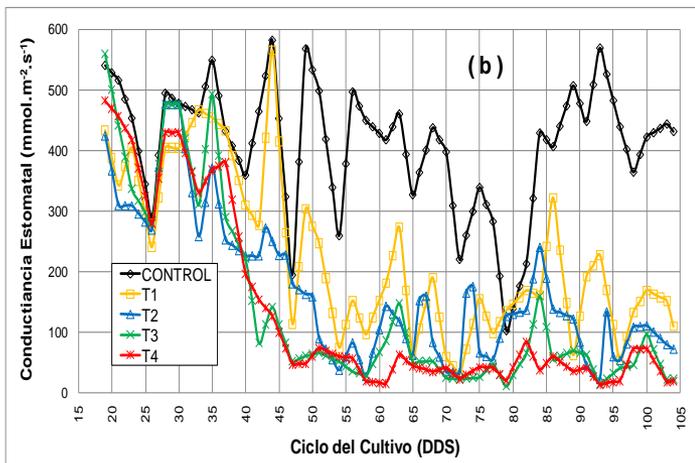
- WP = 19,83 g.m⁻² Avena forrajera



- WP = 14,97 g.m⁻² Raigrás

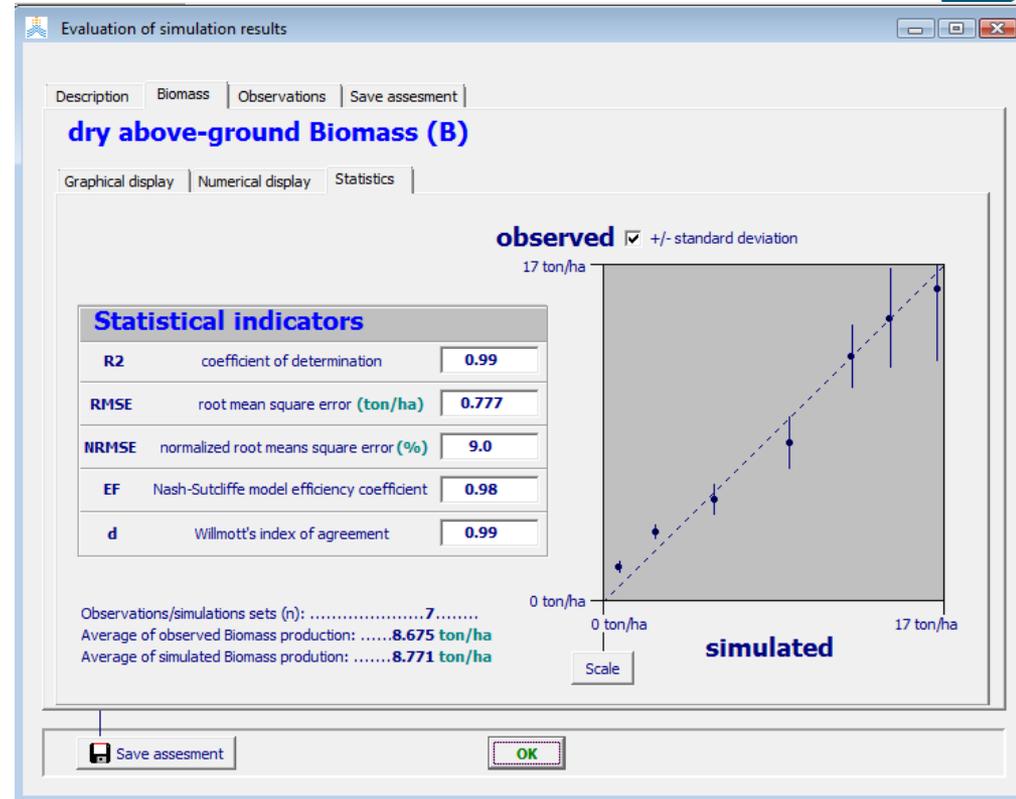
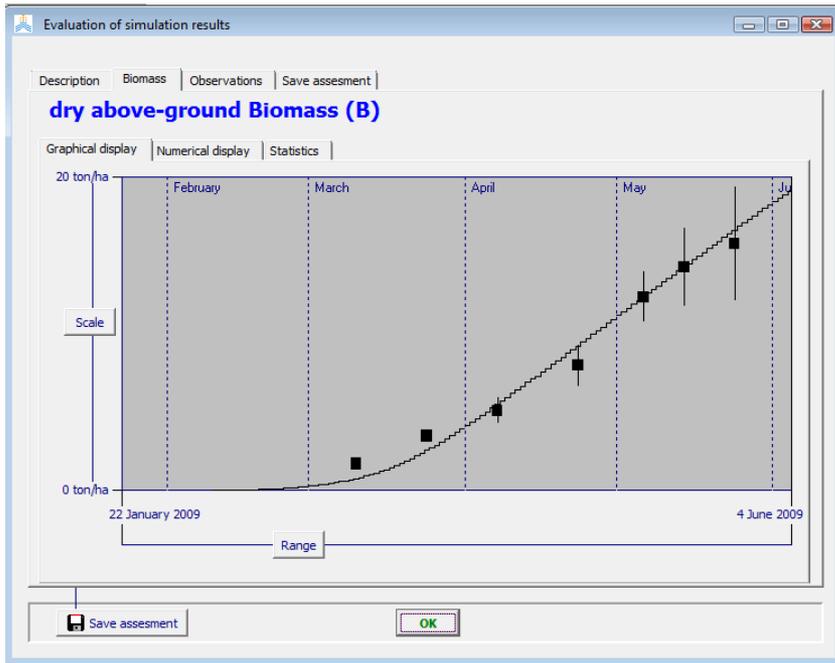
Resultados

Experimentos de Estrés hídrico



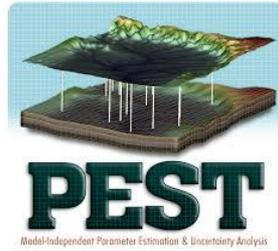
Resultados

Calibración



Ajuste de la calibración alcanzada para Avena Forrajera para el modelo AquaCrop, (Cultivo AvC1)

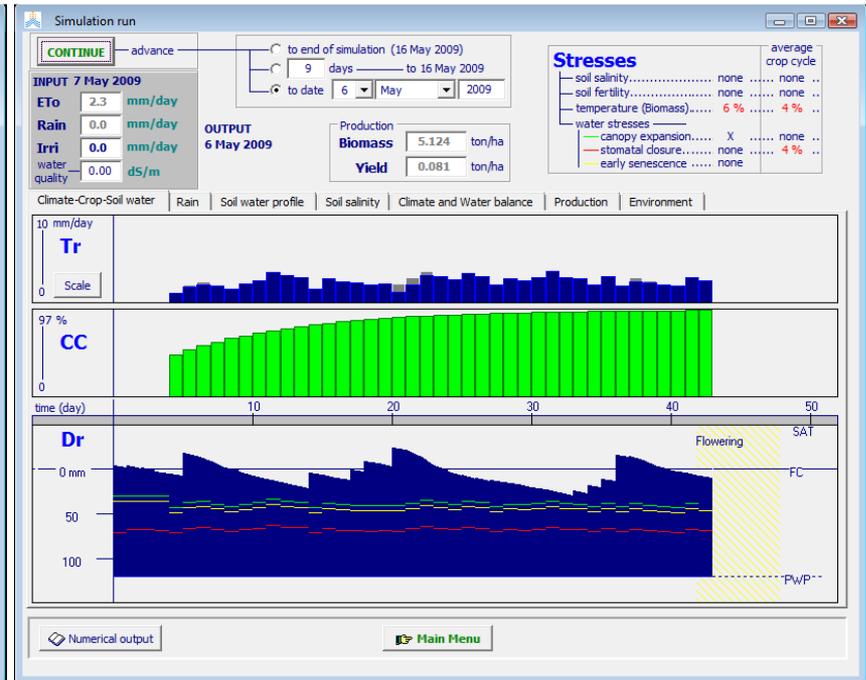
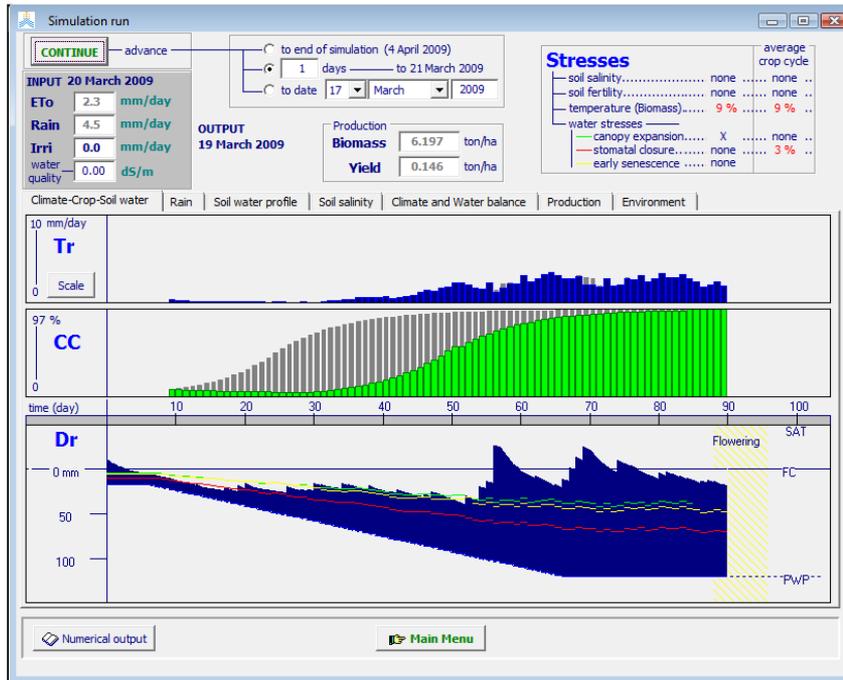
Resultados



PEST

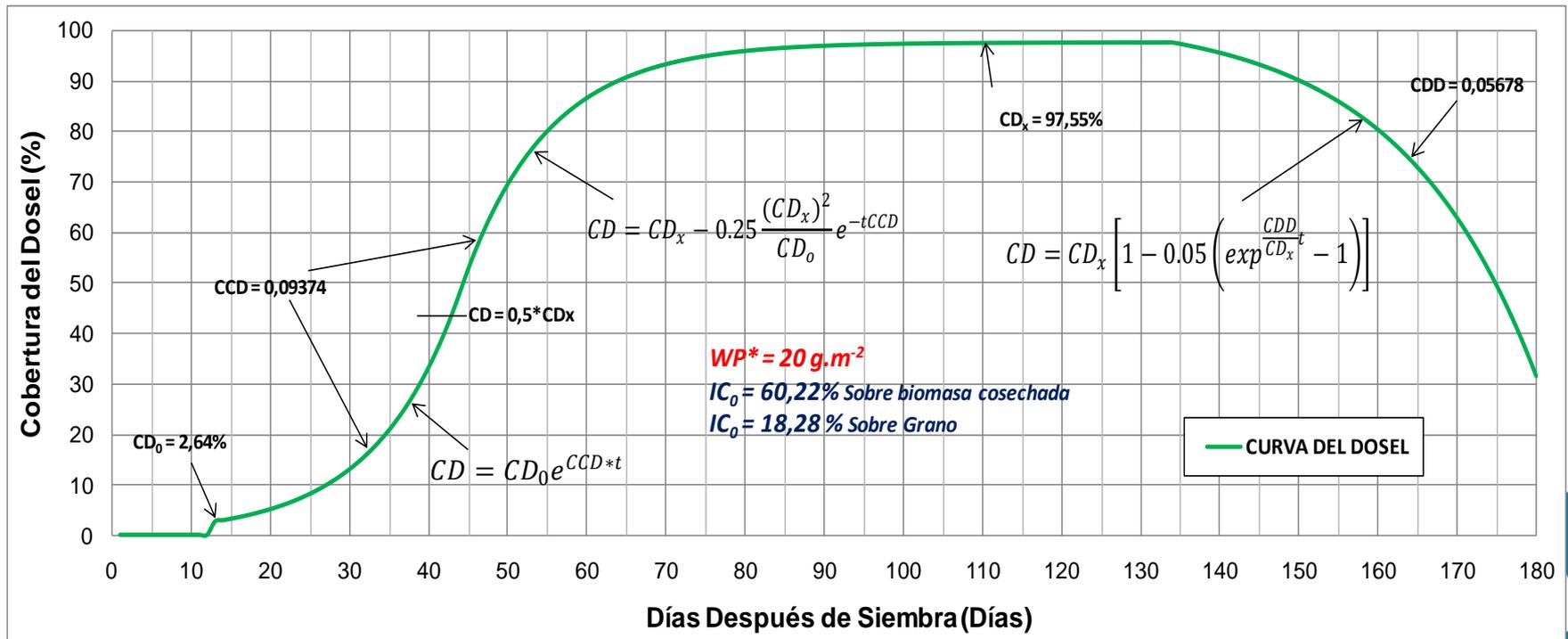
Model-Independent Parameter Estimation & Uncertainty Analysis

Calibración



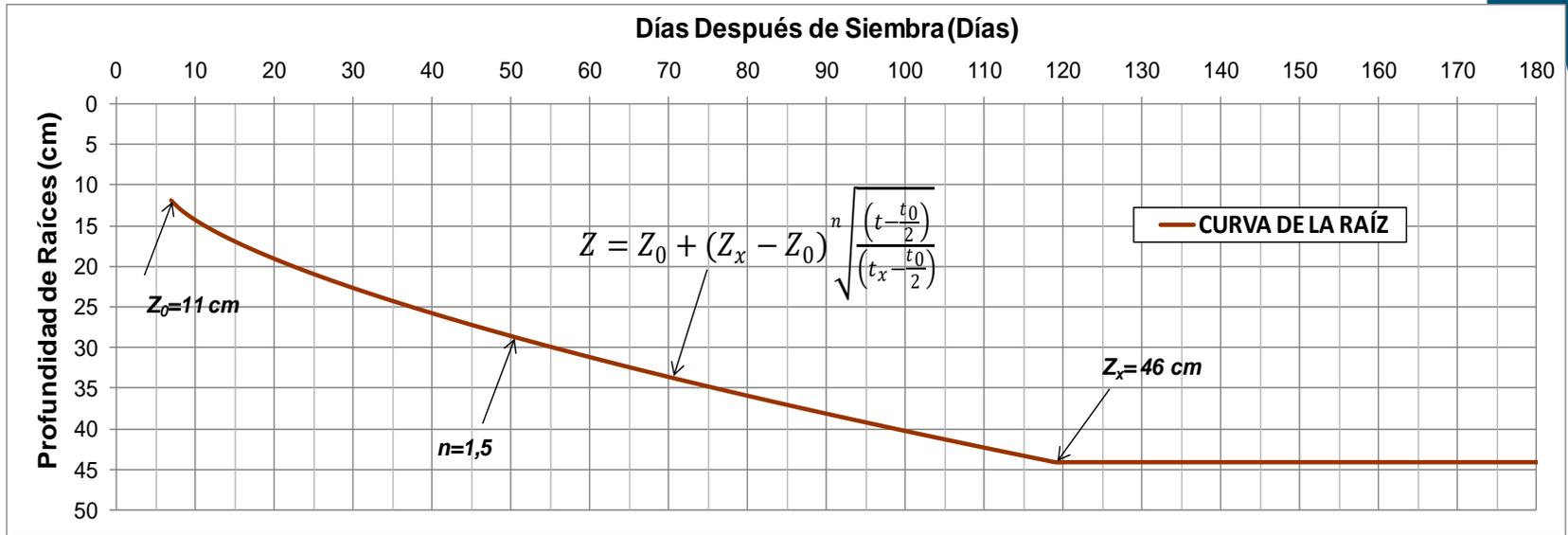
Calibración alcanzada para Raigrás para el modelo AquaCrop
(Salida gráfica, RC1C2)

Simulación de Cultivos

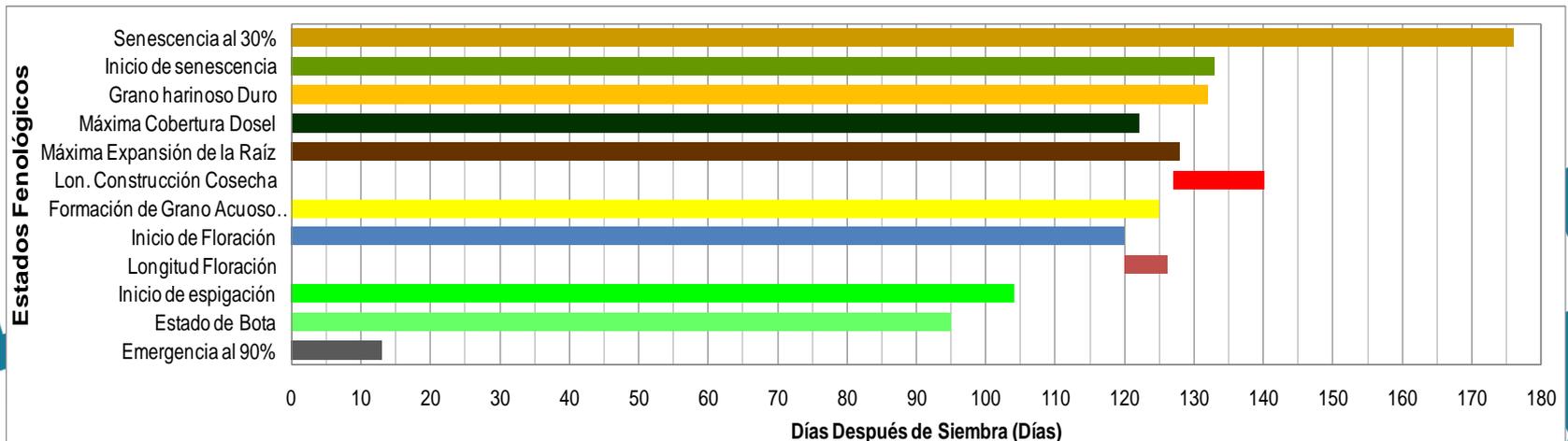


Integración de las variables obtenidas para Avena Forrajera
Simulación del desarrollo del dosel para Avena Forrajera

Simulación de Cultivos



Simulación del crecimiento de las raíces de Avena Forrajera



Simulación de Tiempos de Eventos Fenológicos para Avena Forrajera



Conclusiones

- La Productividad hídrica normalizada y la Huella Hídrica
 - La WP* para **avena forrajera** fue de **19,83 g.m⁻²** en promedio y **14,97 g.m⁻²** para **raigrás**, valores que están dentro de los límites superior e inferior establecidos por AquaCrop para cultivos C3, (15 a 20 g.m⁻²) Raes et al., (2009), lo cual establece la idoneidad de los resultados alcanzados y ratifica la tesis en la que se basa el modelo. Al momento de calibración y validación los valores fueron **redondeados en 20 y 15 g.m⁻²** para avena forrajera y raigrás respectivamente.
 - La huella hídrica intrínseca para **avena forrajera** fue determinada en **175 L.kg⁻¹** y para **raigrás** en **442 L.kg⁻¹** y **431 L.Kg⁻¹**.
 - La **biomasa total** para **avena forrajera** fue determinada en un nivel **22,2 t.ha⁻¹** en promedio con valores máximos que pueden llegar a alcanzar hasta **27 t.ha⁻¹** en el entorno productivo de la Sabana de Bogotá. Para **raigrás** la biomasa total alcanzó niveles promedio de **9 t.ha⁻¹**, pero puede alcanzar niveles máximos de **10 t.ha⁻¹** para el período de siembra a primer corte, y de **6 t.ha⁻¹** en promedio, con producciones máxima de hasta **7 t.ha⁻¹** para los cortes posteriores al primero.



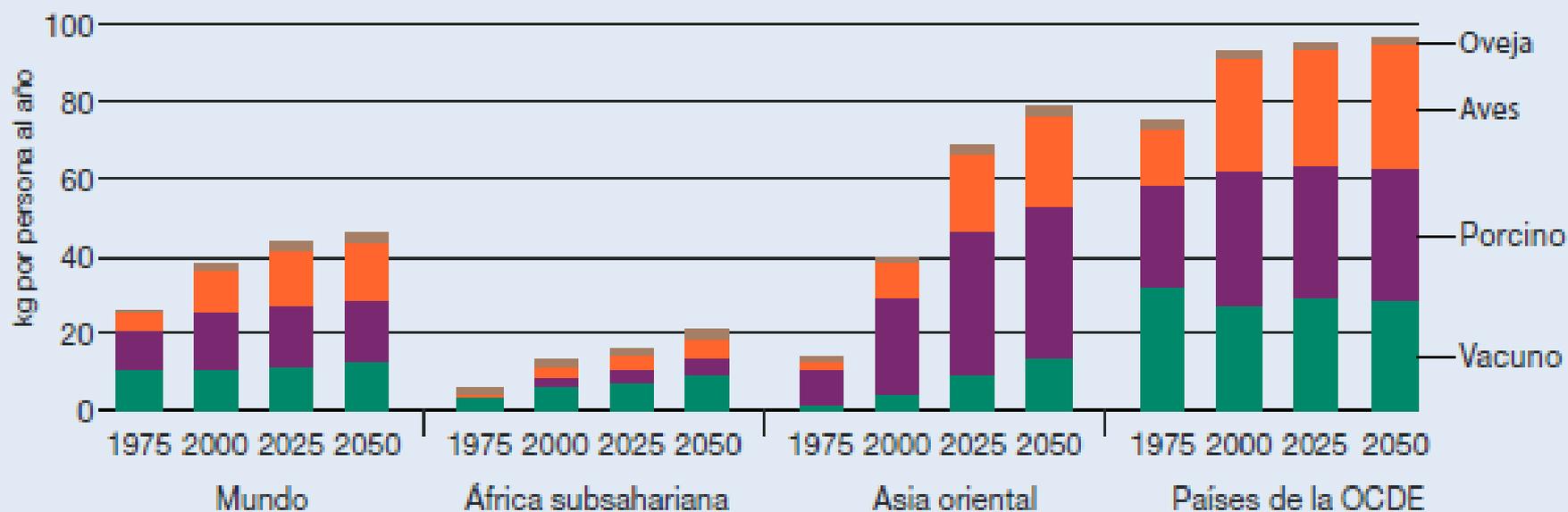
*Que esperar ?
El Futuro del Agua en el Sector
Agrícola*



Que esperar ? El Futuro del Agua en el Sector Agrícola

figura 2

En Asia oriental, el consumo de carne será más del doble en 2050

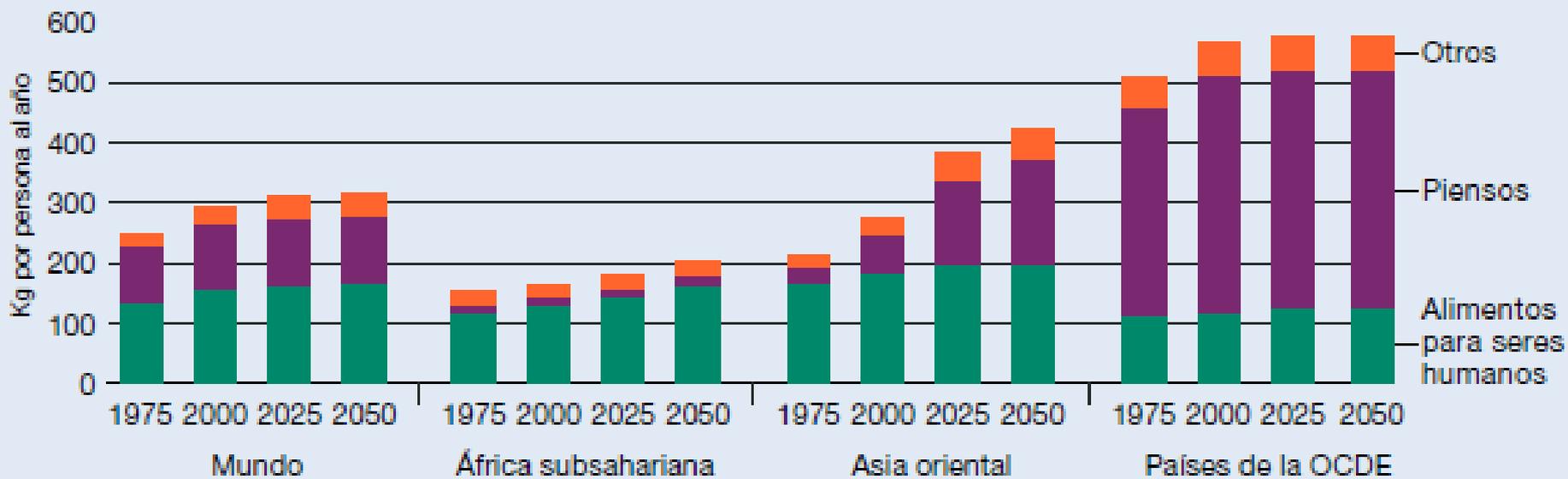


Fuente: Para 1975 y 2000, base de datos estadísticos FAOSTAT; para 2025 y 2050, Instituto Internacional para el Manejo del Agua (IIMI), análisis efectuado para la Evaluación exhaustiva de la Gestión del Agua en la Agricultura, utilizando el modelo Watersim; capítulo 3.

• OCDE: Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico

Que esperar ? El Futuro del Agua en el Sector Agrícola

figura 3 | La demanda de piensos impulsa la demanda de granos



Fuente: Para 1975 y 2000, base de datos estadísticas FAOSTAT; para 2025 y 2050, Instituto Internacional para el Manejo del Agua (IWMI), análisis efectuado para la Evaluación exhaustiva de la Gestión del Agua en la Agricultura, utilizando el modelo Watersim; capítulo 3.

- OCDE: Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico

Que esperar ? El Futuro del Agua en el Sector Agrícola

Cuadro 1

Características del escenario previsto en la Evaluación exhaustiva

| Región | Posibilidad de mayor productividad en zonas de secano | Posibilidad de mayor productividad en zonas de regadío | Posibilidad de ampliar la superficie regada |
|---------------------------------|---|--|---|
| África subsahariana | Alta | Alguna | Alta |
| Medio Oriente y Norte de África | Alguna | Alguna | Muy limitada |
| Asia central y Europa oriental | Alguna | Buena | Alguna |
| Asia meridional | Buena | Alta | Alguna |
| Asia oriental | Buena | Alta | Alguna |
| América Latina | Buena | Alguna | Alguna |
| Países de la OCDE | Alguna | Alguna | Alguna |



Cómo enfrentar los fenómenos de Variabilidad y Cambio Climático en el Sector Agrícola

Cómo enfrentar los fenómenos de Variabilidad y Cambio Climático en el Sector Agrícola



Acciones Políticas

- 1: Cambiar nuestro modo de pensar sobre el agua y la agricultura.
2. Luchar contra la pobreza, mejorando el acceso y el uso del agua para fines agrícolas.
3. Gestionar la agricultura con miras a establecer los servicios ecosistémicos.
4. Aumentar la productividad hídrica.
5. Mejorar los sistemas agrícolas de secano.
6. Adaptar las técnicas de riego del pasado a las necesidades del futuro.
7. Mejorar el proceso de reforma focalizándolo en las instituciones estatales.

Cómo enfrentar los fenómenos de Variabilidad y Cambio Climático en el Sector Agrícola

Acción Política 1: Cambiar nuestro modo de pensar sobre el agua y la agricultura

| Concepto del Pasado | Concepto Actual y Futuro |
|---|--|
| Alternativas de Riego | Alternativas de Secano y Riego Deficitario |
| Extracción de Agua | Usos múltiples del Agua. (Pesca, Acuicultura, Ganadería) |
| | Gestión de Lluvia, Reutilización, Eto. |
| | Tierra productiva proporcional al agua disponible |
| Separa Agua para Agricultura y Ecosistemas. | Integra la Agricultura en la Conservación del ecosistema |
| Análisis Financiero con base en la Producción | Considera los riesgos y vulnerabilidad del ecosistema |
| Amplia la superficie | Intensifica la productividad |
| El estado es responsable de la irrigación | Acciones participativas para el manejo del agua |
| Uso ambiental del agua = Agua Perdida | Valora los aspectos ambientales en forma económica. |

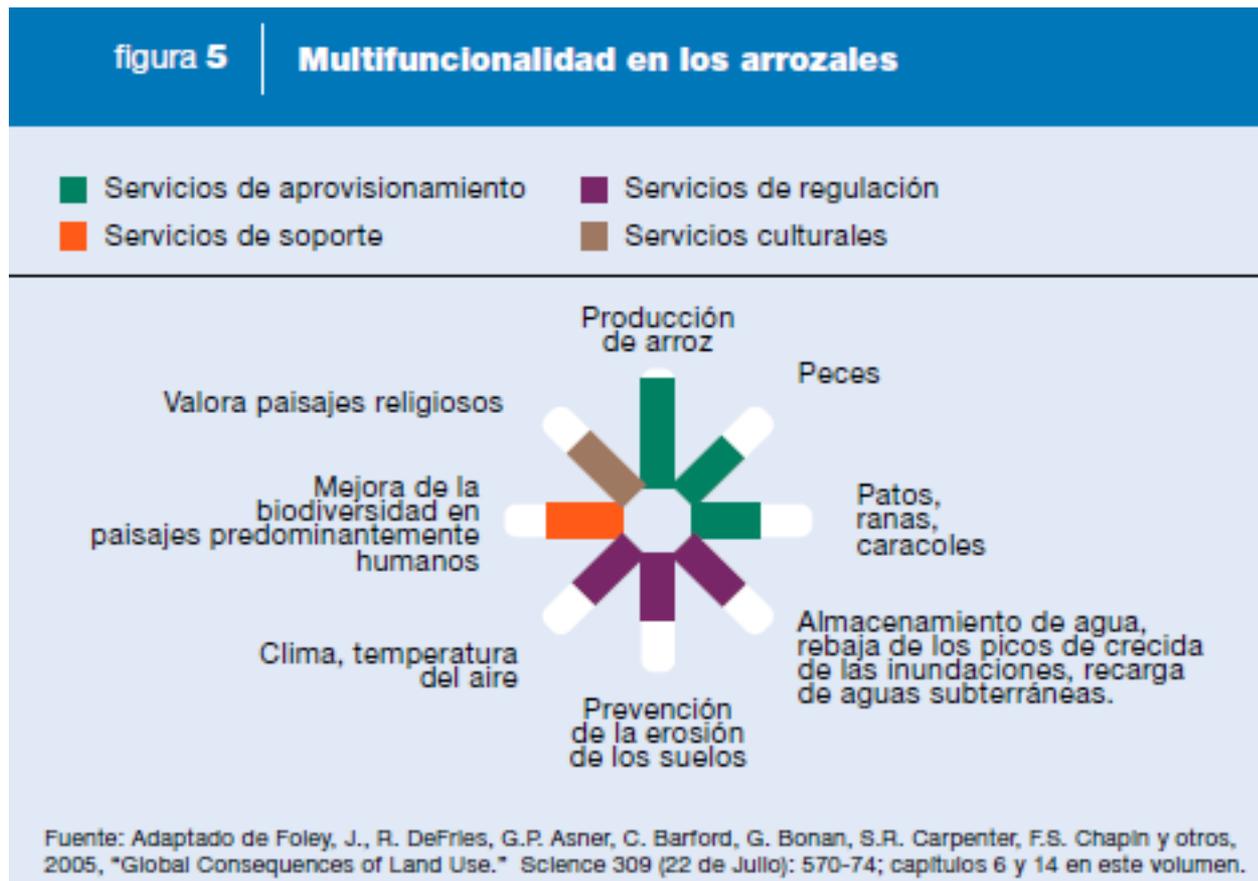
Cómo enfrentar los fenómenos de Variabilidad y Cambio Climático en el Sector Agrícola

- Acción Política 2: Luchar contra la pobreza, mejorando el acceso y el uso del agua para fines agrícolas.



Cómo enfrentar los fenómenos de Variabilidad y Cambio Climático en el Sector Agrícola

- Acción Política 3: Gestionar la agricultura con miras a fortalecer los servicios ecosistémicos

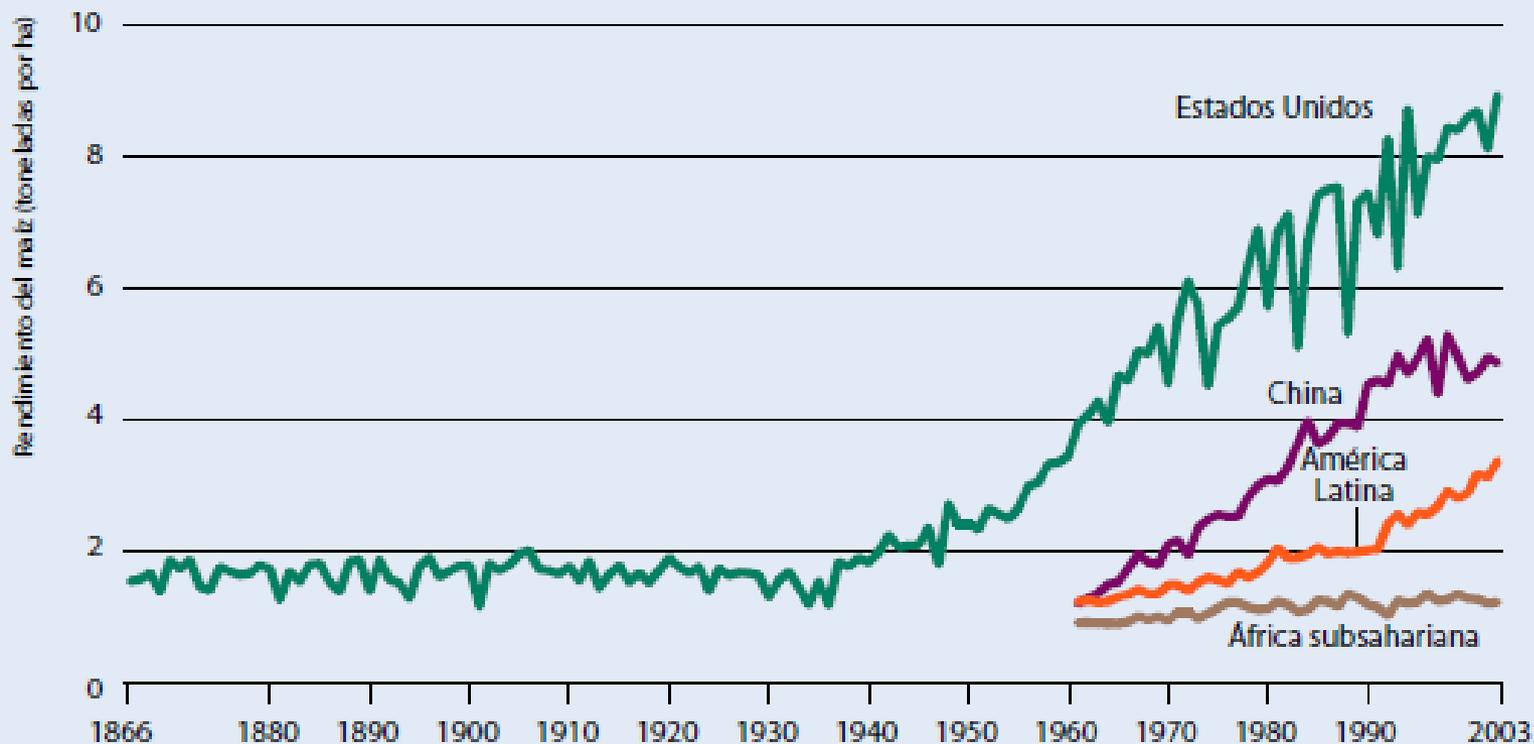


Cómo enfrentar los fenómenos de Variabilidad y Cambio Climático en el Sector Agrícola

- Acción Política 4: Aumentar la productividad hídrica

figura 6

El África subsahariana todavía tiene que “despegar” como lo hicieron Asia y América Latina durante la revolución verde, y los países industriales mucho antes.

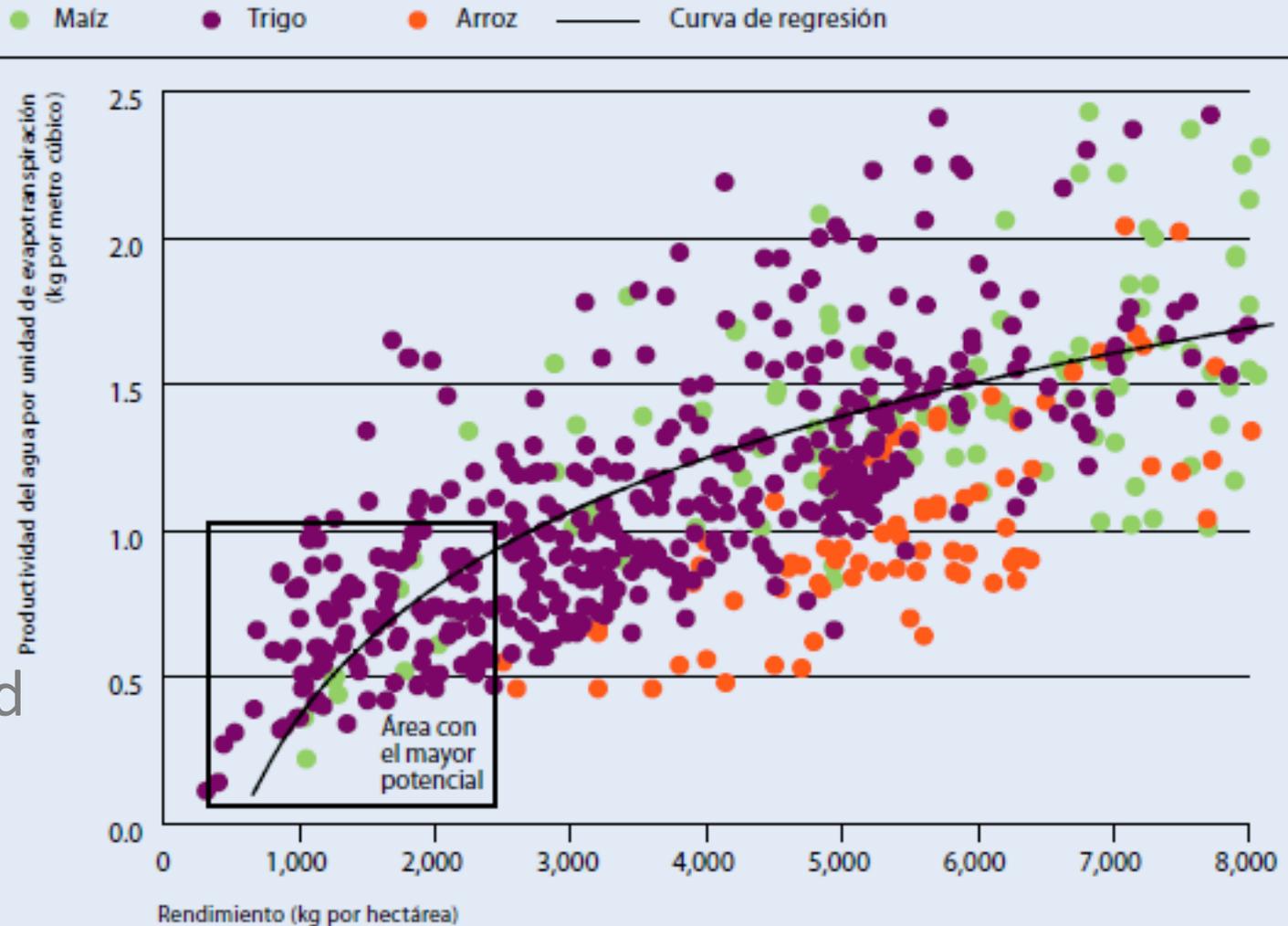


Fuente: Datos de EE.UU. Servicio Nacional de Estadísticas Agrícolas, del Departamento de Agricultura. Los datos del resto de los países y regiones proceden del FAOStat.

Cómo enfrentar los fenómenos de Variabilidad y Cambio Climático en el Sector Agrícola

figura 7

Figura 7. El mayor potencial para elevar la productividad del agua está en las zonas con muy bajos rendimientos, que generalmente son las pobres



Acción
Política 4:
Aumentar la
productividad
hídrica

Cómo enfrentar los fenómenos de Variabilidad y Cambio Climático en el Sector Agrícola

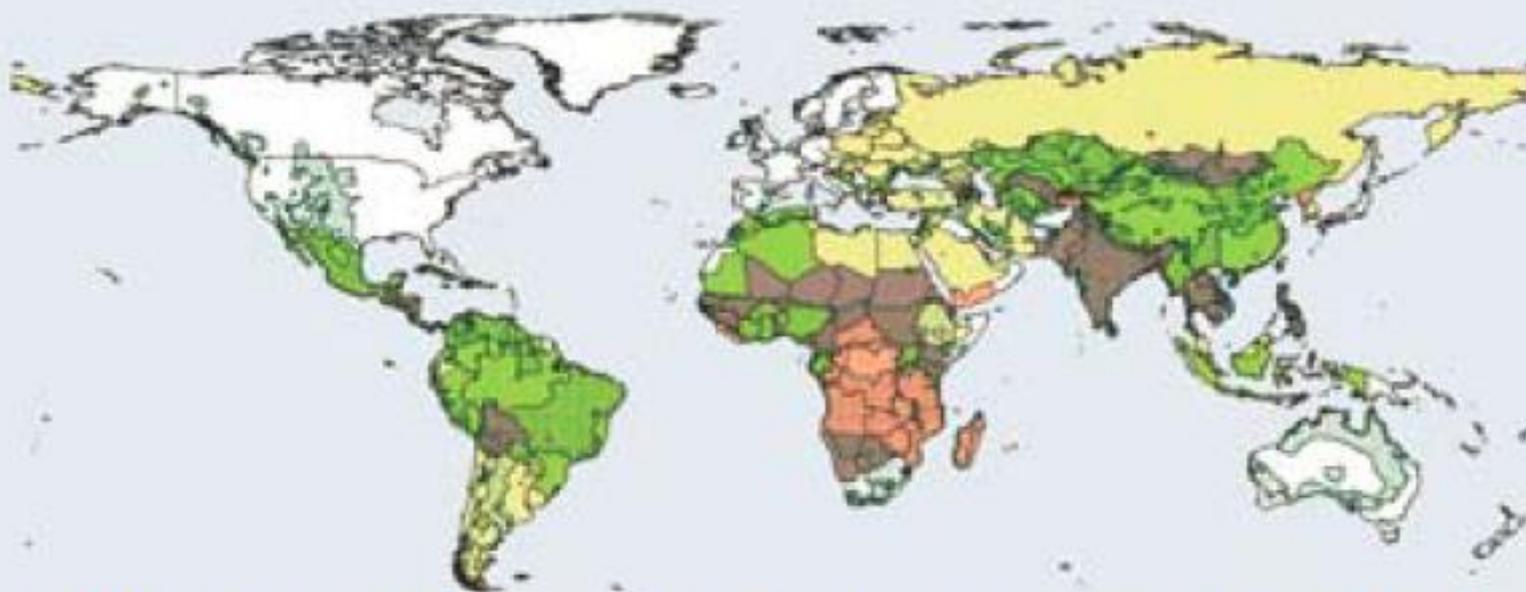
Acción Política 5: Mejorar los sistemas agrícolas de secano – un poco de agua puede rendir mucho.

mapa 3

La subnutrición es alta en climas semiáridos y subhúmedos secos, sujetos a precipitaciones variables, temporadas de escasez de lluvias y sequías
(Subnutridos como parte del total de la población, 2001/02)

Menos del 5% 5%–20% 20%–35% Más del 35%

Zonas climáticas según Koeppen
sabanas/estepas



Nota: Entre los hidroclimas subhúmedos secos y en los semiáridos se encuentran los agroecosistemas de las sabanas y las estepas. En estas regiones predomina la agricultura sedentaria, que está expuesta a la mayor variabilidad mundial en las precipitaciones, a la ocurrencia de temporadas sin lluvias y a sequías.

Fuente: Base de datos UNStat. 2005, United Nations Statistical Division, <http://unstats.un.org/unsd/default.htm>; capítulo 8.

Cómo enfrentar los fenómenos de Variabilidad y Cambio Climático en el Sector Agrícola

Acción Política 6: Adaptar las técnicas del riego del pasado a las necesidades del futuro.

Acción Política 7: Mejorar el proceso de reforma focalizándolo en las instituciones.

| |
|---|
| Transferencia de la gestión del riego. Del Estado a los Usuarios. |
| Establecer organización alrededor de las cuencas |
| Cobrar por el agua. + Se valoraría mejor el recurso. - Se podría aumentar la pobreza. |
| Derechos del agua transferibles en el mercado. |

Conclusiones y Recomendaciones

- *Aumento de la productividad hídrica en la producción agropecuaria.*
- *Aumento de la regulación hídrica en cuencas de interés agropecuario.*
- *Enfrentar los fenómenos de Variabilidad y Cambio Climático de cara a la producción agropecuaria.*
- *Fomentar la investigación y transferencia de tecnología en las áreas de Agroclimatología, Irrigación, Drenaje, la productividad y la huella hídrica.*

“El agua potable y limpia representa una cuestión de primera importancia, porque es indispensable para la vida humana...”

Encíclica Laudato SI

debemos cuidarla
El agua
es bendita

• **GRACIAS**

• *Ing. César Terán*

cesarateran@gmail.com

cteran@corpoica.org.co

Bibliografía

- **Bocanumenth, A.** 2006. *La gestión del agua en los distritos de riego en Colombia.*
- **Conpes y DNP.** 2008. *Documento Conpes Social 113. Política nacional de seguridad alimentaria y nutricional (PSAN).* Consejo Nacional de Política Económica y Social y Departamento Nacional de Planeación
- **Contraloría General de la República.** 2009. *Políticas y resultados de la inversión en infraestructura para el sector agropecuario durante en la presente década.*
- **DANE.** 2005. *Censo general 2005.* Departamento Administrativo Nacional de Estadística
- **DANE.** 2009. *Proyecciones nacionales y departamentales de población 2005-2020.* Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- **DANE.** 2011a. *Colombia, exportaciones totales, según CIU revisión 3, mayo 2011.* Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- **DANE.** 2011b. *Colombia, importaciones totales, según CIU revisión 3, abril 2011.* Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- **DANE.** 2011c. *Producto Interno Bruto, primer trimestre de 2011-base 2005.* Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- **DNP.** 1991. *Plan de desarrollo económico y Social 1990-1994.* Departamento Nacional de Planeación.
- **DNP.** 2011. *Plan nacional de desarrollo 2010-2014.* Departamento Nacional de Planeación.
- **FAO.** 2000. *El riego en América Latina y el Caribe en cifras. Informe sobre temas hídricos de la FAO No. 20.* Roma. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **IDEAM.** 2010. *Estudio nacional del agua 2010.* Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C.
- **IGAC.** 2002. *Atlas de Colombia.* Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- **IGAC.** 2008. *Atlas básico de Colombia.* Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- **IGAC y CORPOICA.** 2002. *Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia.* Capítulo 3, vocación de uso de las tierras de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
- **INCODER.** 2011. *La adecuación de tierras en Colombia: antecedentes, estado actual y prospectiva.* Instituto Colombiano para el Desarrollo Rural.
- **INS.** 2011a. *Informe de evento cólera, año 2010-Colombia.* Instituto Nacional de Salud/Sistema de Vigilancia y Control en Salud Pública.
- **INS.** 2011b. *Informe de evento fiebre tifoidea y paratifoidea, año 2010-Colombia.* Instituto Nacional de Salud.
- **INS.** 2011c. *Informe del evento Hepatitis A, año 2010-Colombia.* Instituto Nacional de Salud.
- **MADR y CCI.** 2009. *Encuesta nacional agropecuaria 2009.* Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Corporación Colombia Internacional
- **MADR.** 2011a. *Agenda prospectiva de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para la seguridad alimentaria colombiana, vista desde la disponibilidad de alimentos.* Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- **MADR.** 2011b. *Cartilla de política agropecuaria 2010-2014.* Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- **MADR.** 2011c. *Memorias al Congreso 2010-2011.* Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- **MAVDT.** 2006. *Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales PMAR. Serie prevención y control de la gestión integral del recurso.* Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- **MAVDT/Viceministerio de Ambiente.** 2010. *Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico.* Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- **MAVDT y IDEAM.** 2009. *Taller de expertos sobre métodos de evaluación de recursos hídricos y usos del agua – Latino América.* Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- **Ministerio del Medio Ambiente e IDEAM.** 2002. *Zonificación de los procesos de salinización de los suelos de Colombia.* Ministerio del Medio Ambiente e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- **World Bank.** 2011. *Indicators of world development.*