

Análisis de Alternativas para el Abastecimiento de Agua para Irrigación en Valle Pájaro, California, Estados Unidos

By
**R.T. Hanson¹, Brian Lockwood²,
Claudia Faunt³, & Wolfgang Schmid⁴**

¹ Research Hydrologist, Servicio Geológico de Estados Unidos, Centro de Ciencias del Agua, San Diego, CA

² Hydrogeologist, Pajaro Valley Water Management Agency, Watsonville, CA

³ Hydrologist, U.S. Geological Survey, San Diego, CA

⁴ Research Hydrologist, University of Arizona, Tucson, AZ



Jornadas Tecnicas sobre la Recarga Artificial Aquiferos y Reuso de Agua

9 y 10 de Junio de 2011









Mi Presentacion Hoy

- Descripción del problema de abastecimiento de agua
- Resumen de la metodología del modelo y de modelado
- Balance Hydrologico y Análisis de Sostenibilidad
- Descripción de Gestión de la Cuenca y Plan de Recarga Artificial
- Resumen de Simulación de Recarga Artificial / Reuso de Agua
- Resumen de la Futura Proyección con Recarga y Reuso
- Posibles aplicaciones futuras del modelo y las limitaciones

California Ground Water Basins

-  Coastal Ground Water Basins
-  Inland Ground Water Basins
-  Mountainous Areas
-  Salt-Water Intrusion Problem or Potential Problem

**Principales Cañones
submarinos
Proporcionar corto
circuito a intrusiones
de agua de mar hacia
tierra trayectorias de
flujo de partes de
Acuíferos Costeros**

Smith River Valley

Eureka Plain
Eel River Valley

Napa-Sonoma Valley
Petaluma Valley

Suisun-Fairfield Valley
Pittsburg Plain
Clayton Valley
Ygnacio Valley

Santa Clara Valley

Pajaro Valley
Salinas Valley

Arroyo Grande Valley
Santa Maria River Valley
Santa Ynes River Valley

Santa Clara River Valley

Coastal Plain of Los Angeles

Coastal Plain Orange County

San Luis Rey Valley

GESTIÓN DE AGUA EN EL VALLE DE PAJARO



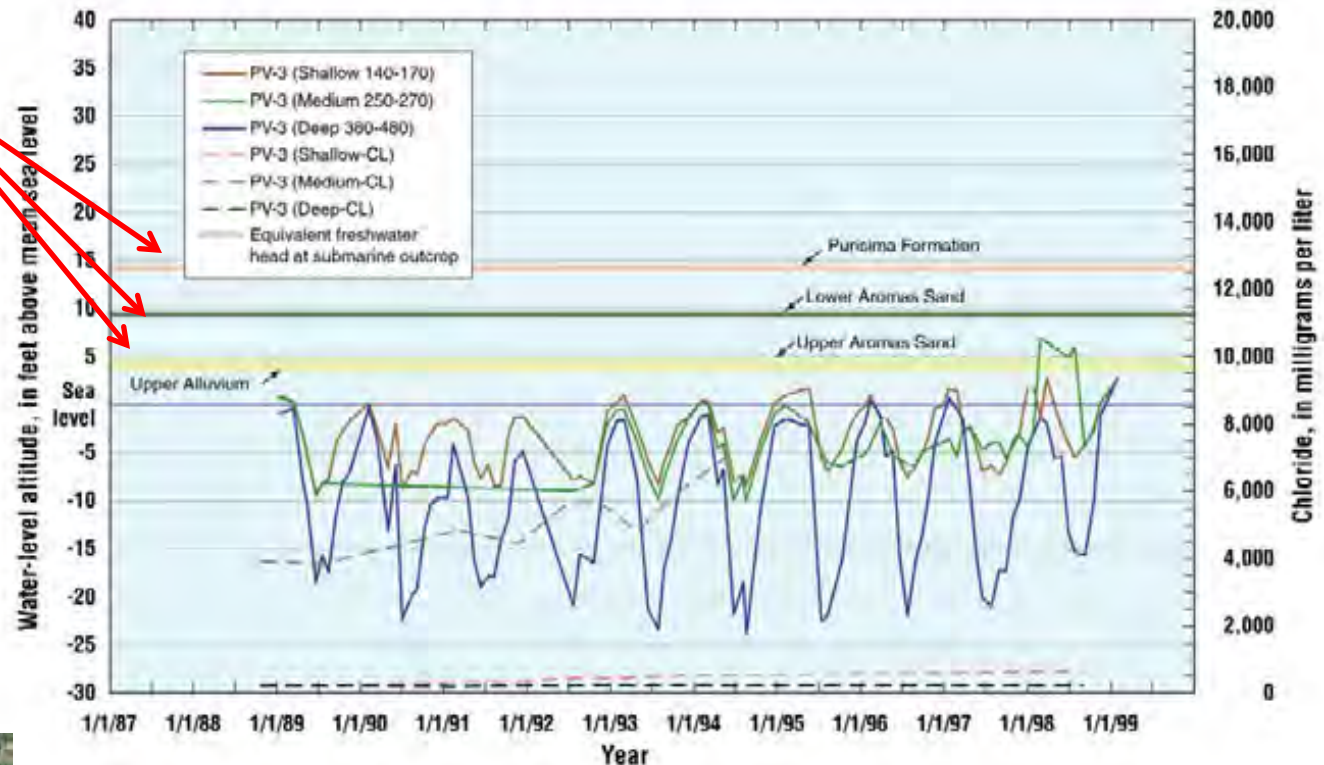
Base from U.S. Geological Survey digital data, 1981-1989
Universal Transverse Mercator projection, Zone 10, NAD 1983
Bathymetry data from MBARI, 2000.

EXPLANATION

- | | | | |
|--------------------------------|---|--|--|
| Pajaro River watershed | Pajaro Valley Water Management Agency boundary (USBR, 1988) | Soquel Creek Water District service area | River or streams |
| Outside Pajaro River watershed | City of Watsonville service area | Central Water District service area | Bathymetry contours—
Number is depth below sea level in meters. Interval varies |
| | | | Precipitation station—
Watsonville |
| | | | CIMIS station—
Station 129 |

Valle de Pájaro - 4 acuíferos con diferentes presiones de agua de mar de intrusiones

Water Levels and Sea Water Intrusion



To Prevent Additional Seawater Intrusion Groundwater Levels Need to be 4 – 15 ft above MSL (Equivalent Freshwater Heads)



- Long term declines, climatic cycles, and seasonal pumping suppress water levels below sea water pressures allowing sea water to flow inland and contaminate fresh ground water supplies
- Not all intrusion is saline waters but some is very old water possibly being forced landward from offshore, i.e PV-3 (Deep)

D

Fall, 2006

Santa Cruz Co
Zayante-Virgiles Fault Zone

Santa Clara Co

Monterey Bay

San Andreas Fault Zone

San Benito Co

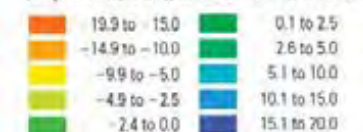
Monterey Co

Monterey Submarine Canyon

Base from U.S. Geological Survey digital data, 1991-1999.
Universal Transverse Mercator projection, Zone 10, NAD 1983.
Bathymetry data from MBARI, 2000.

EXPLANATION

Simulated water-level elevation
(September, 2006), in feet above NAVD 88



Estimated from reported
line of equal water level for
Fall, 2006. Contour
in feet; interval varies.
Hatchures indicate
depression. (modified from
PVWMA, 2007)

Major rivers, sloughs,
and tributaries

Model grid
boundary

Bathymetry

Faults—
From USGS (Brabb and others, 1997),
CDMG (Wagner and others, 2000)

Known
Concealed
Inferred

Approximate trace of modeled
Zayante fault

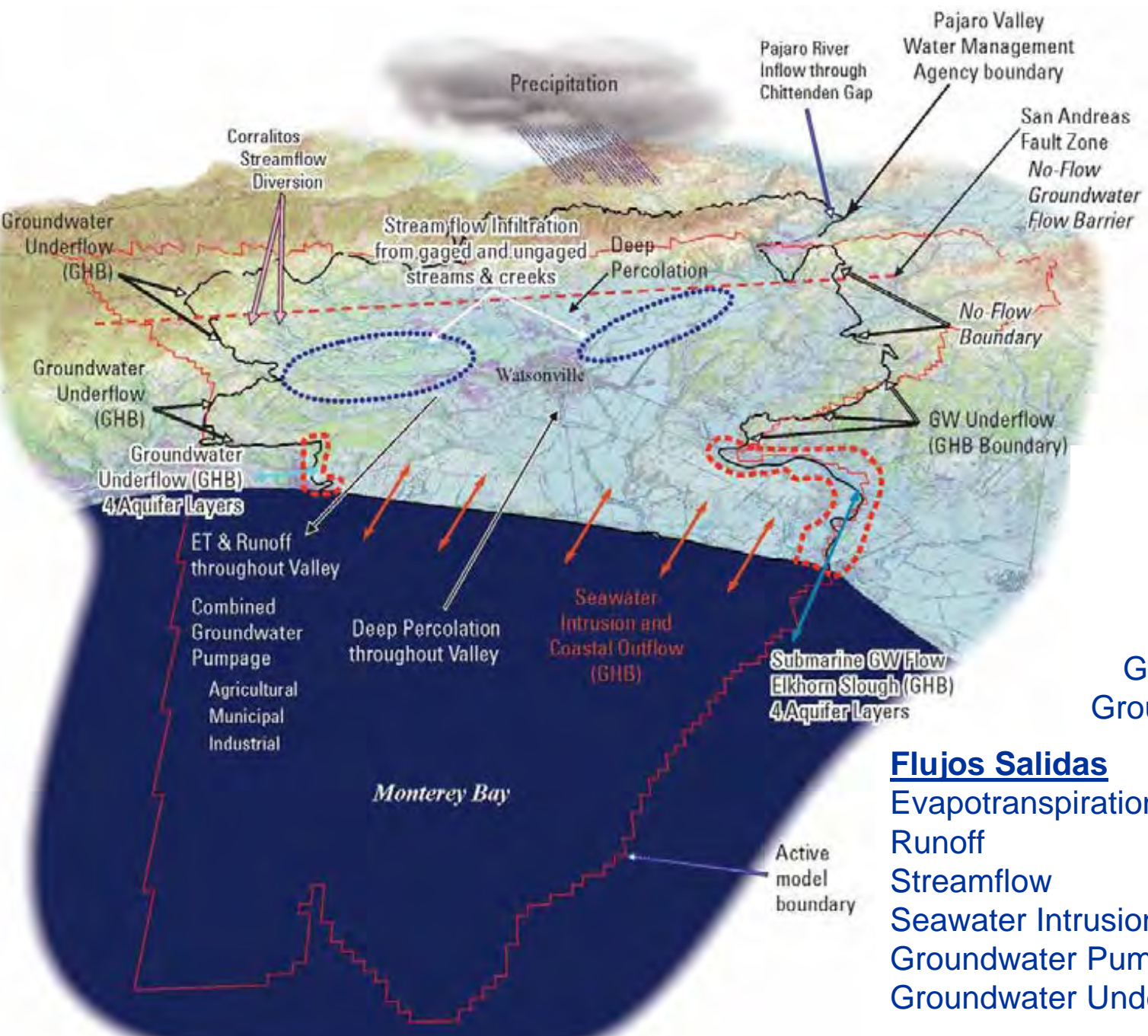
• Data points used to generate
water-level contours

Comparación de las
aguas subterráneas los
niveles medidos y
simulados—Otoño, 2006

➤ los niveles abajo de
nivel del mar

➤ Mayores descensos
del interior y por debajo
de la ciudad

CONCEPTUAL MODEL OF WATER USE & MOVEMENT, PAJARO VALLEY



Flujos Entrada

- Precipitation
- Runoff
- Streamflow
- Seawater Intrusion
- Groundwater Storage
- Groundwater Underflow

Flujos Salidas

- Evapotranspiration
- Runoff
- Streamflow
- Seawater Intrusion
- Groundwater Pumpage → Storage
- Groundwater Underflow

La Problema de Sobreexplotación: ~18,500 AFY

Plan de Manejo de la cuenca (BMP) Solución propuesta

Conservation	5,000 afy (No Incentives)
Harkins Slough	1,100 afy (150 afy)
Recycled Water Facility	4,000 afy
Supplemental Pumpage	3,000 afy
Import Water Supply	13,400 afy (Too Expensive)
Total Supply	13,100 afy 7,150 afy

~70% de Solución de la Problema Ahora

~ 38% el Sistema de entrega en la costa (CDS)

Sobreexplotación

= Storage Depletion + Seawater Intrusion
+ Capture of Discharge

Annual groundwater extraction above
annual recharge to the groundwater
system

Long term overdraft causes falling water
levels which in turn cause seawater
intrusion

Groundwater Extraction has increased in
the Valley

Population Growth

Changes in crop types

Climate (recharge) is variable

➤ ~ 44,200 acre-feet/year (afy) Ahora (2004-08)

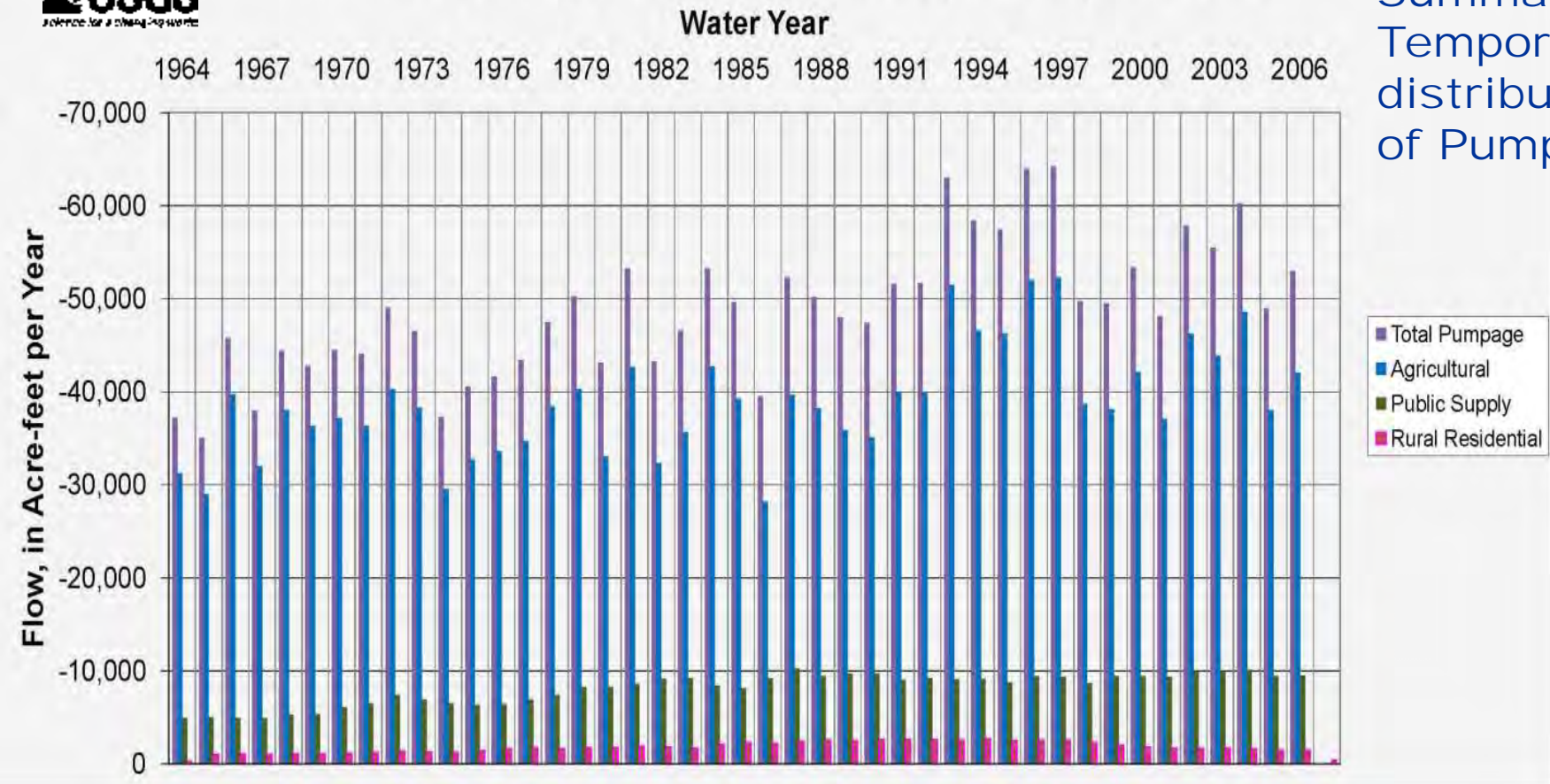
La Ciudad de Watsonville uso ~7,000 acre feet/year (16%)

➤ BMP Proyecto resuelve el problema ahora

➤ Crecimiento Futuro (~18% by 2040):

La Ciudad de Watsonville est. ~ 4,000 afy (~9%) (AMBAG)

Agrícola ~ 4,000 afy (~9%)



- Cambio de bombeo simulado entre 1997 (año seco) and 1998 (año mojado) alrededor de 26% es el mismo de informo de cambio de años más recientes (18% entre 2004-05) y otra lugares de costas como Oxnard Plain, Ventura
- 1997 bombeo agrícola simulada 18% > 2004-08 promedio bombeo (44,200 acre-ft/yr)
- 1998 bombeo agrícola simulada 13% < 2004-08 promedio bombeo
- 1,500 acre-ft/yr overall bombeo agrícola menor entre la región de PVWMA desde el año 1984-97 el más grande desde ~45,700 acre-ft/yr a ~44,200 acre-ft/year (2004-08)
- Cambios de uso de la tierra hacia cultivos más eficiente crecido, menos de vegetales desde 12 a 9% uso de la tierra, and menor huertos en los últimos años desde ~7 a ~3.5% de total uso de la tierra.



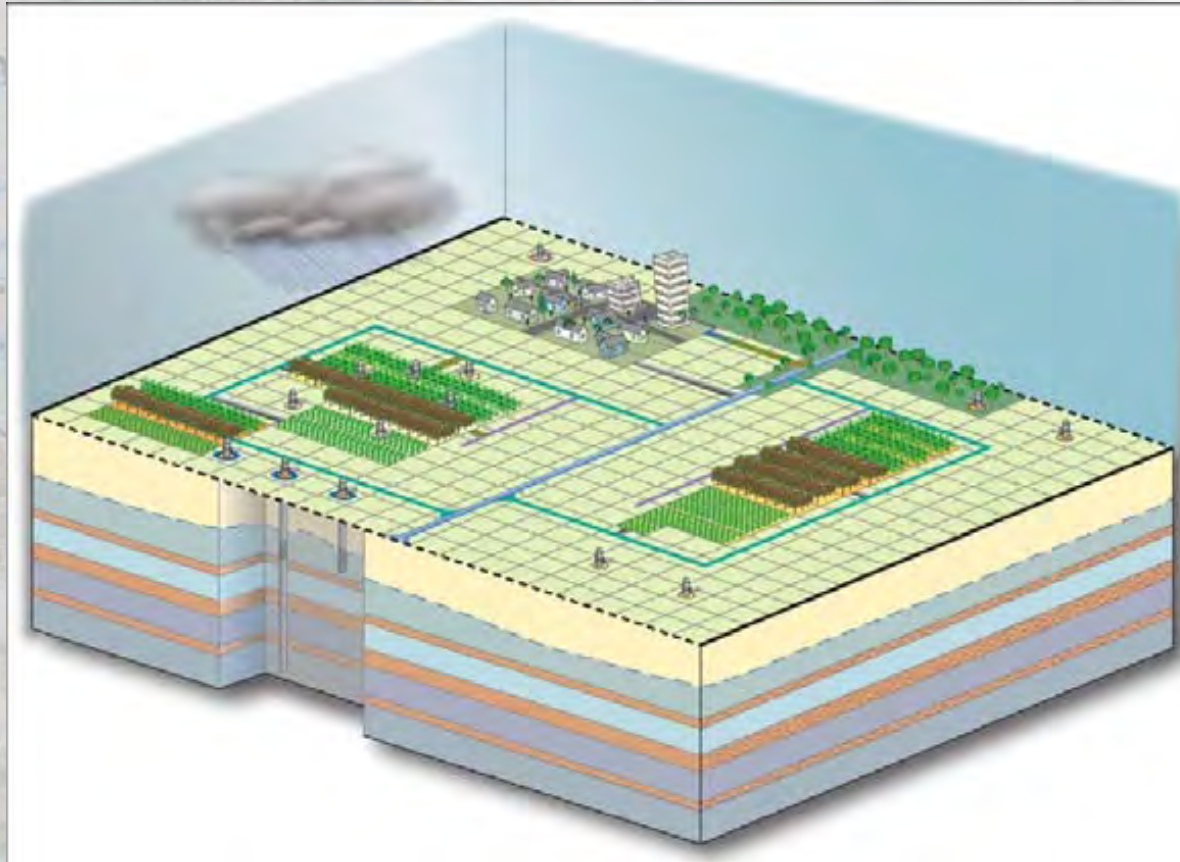
Mi Presentacion Hoy

Descripción del problema de abastecimiento de agua

- **Resumen de la metodología del modelo y de modelado**
- Balance Hydrologico y Análisis de Sostenibilidad
- Descripción de Gestión de la Cuenca y Plan de Recarga Artificial
- Resumen de Simulación de Recarga Artificial / Reuso de Agua
- Resumen de la Futura Proyección con Recarga y Reuso
- Posibles aplicaciones futuras del modelo y las limitaciones

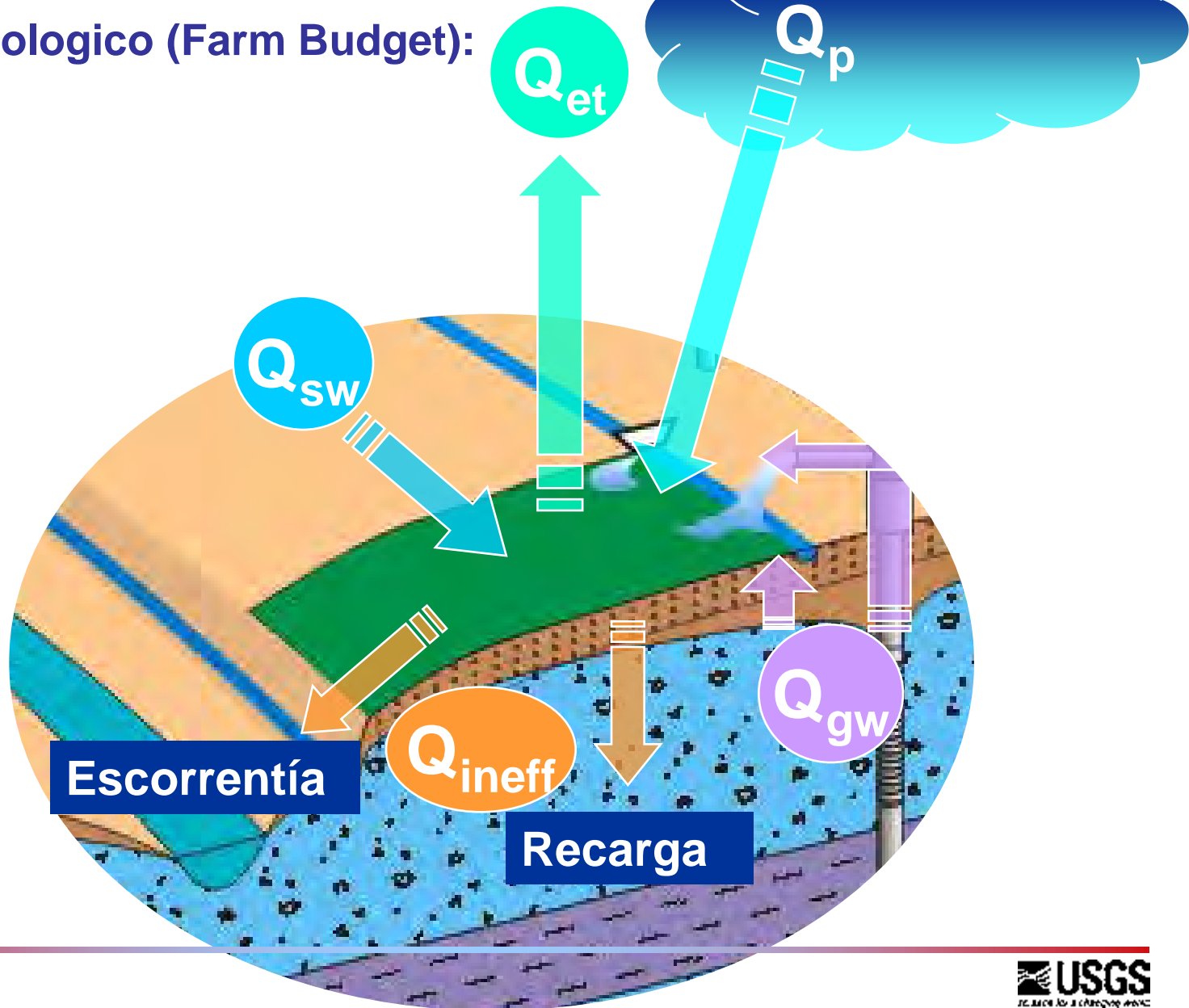
¿Por qué utilizar un Integrado Modelo Hidrológico → Modflow con El Proceso de Granja (MF-FMP) ?

- (1) Integrado Modelo Hidrológico
→ conexión entre Usos Naturales y Humanos y Movimiento del Agua
- (2) FMP's Misión → Simulación
Todo el agua– Todo del vez–
en todas partes en la
Simulación de la hidrosfera
- (3) Directamente simular la
componentes de la oferta y la
demanda y intercambios del
uso conjunto



Simulación del uso y circulación de agua a través de
el paisaje, de aguas superficiales, y las aguas subterráneas

Balance Hidrológico (Farm Budget):



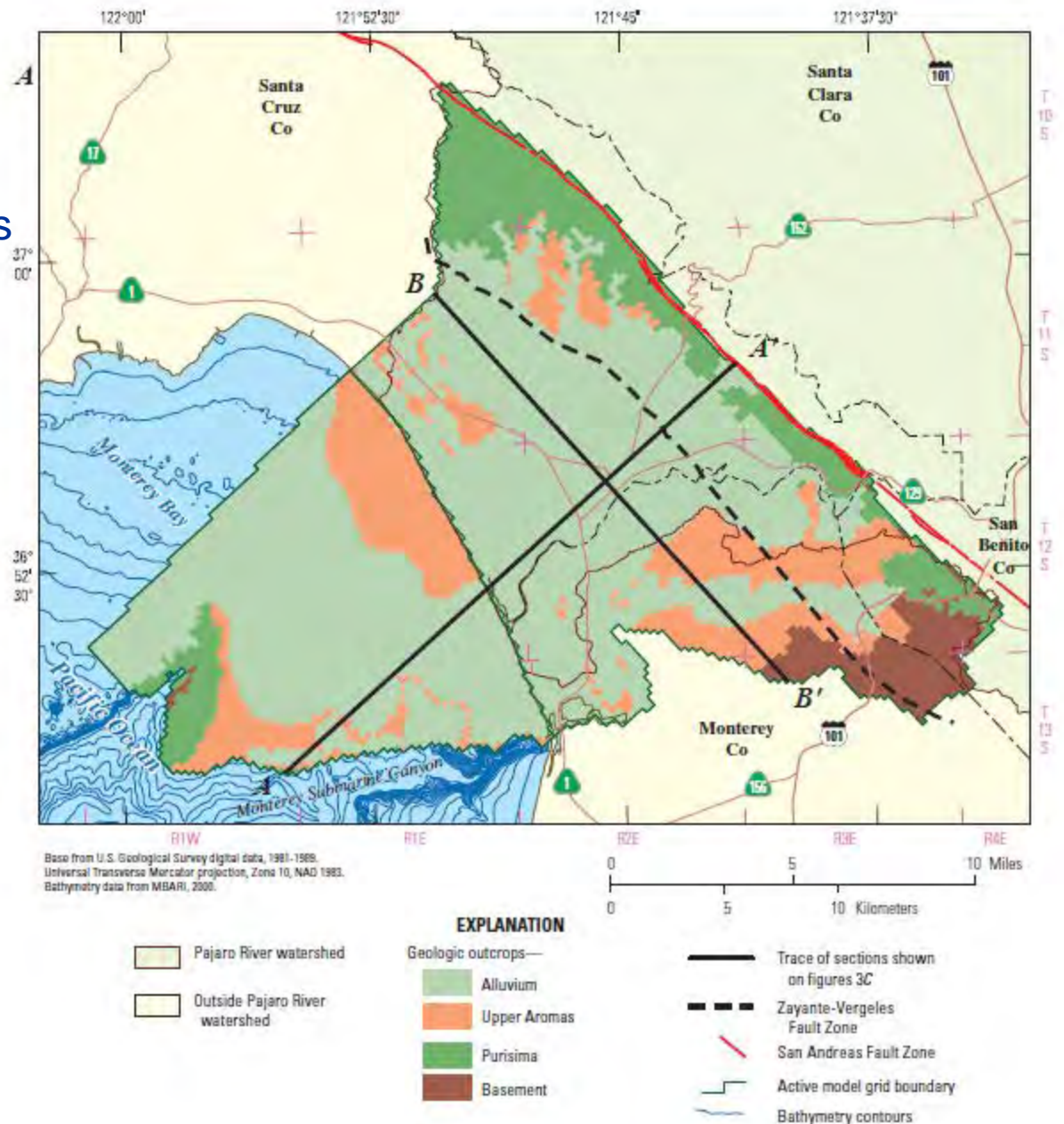


Geología de la Cuenca:

4 capas de geología expuestos en la superficie:

- Alluvium
- Upper Aromas
- Purisima
- Basement

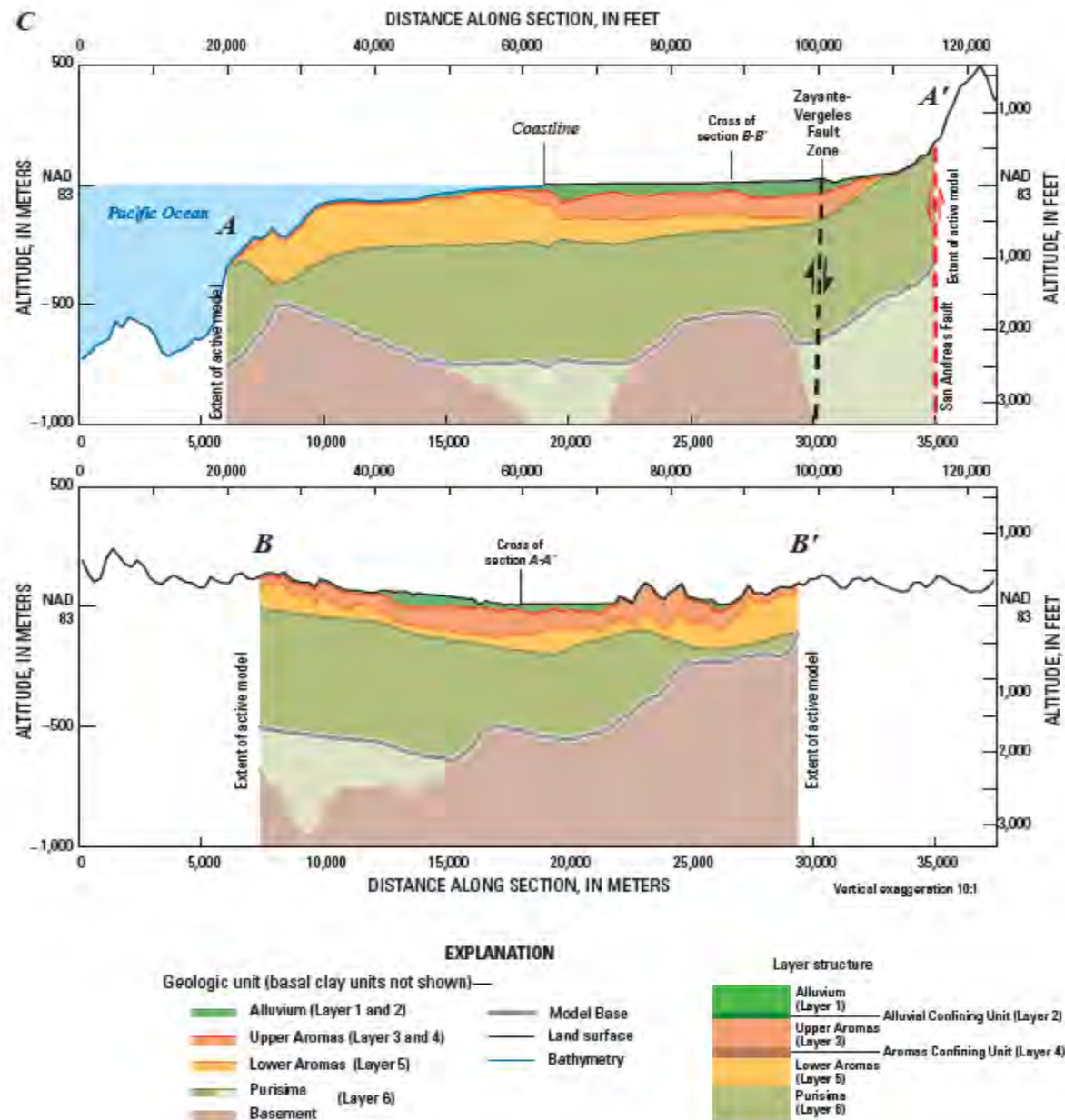
Capas de Acuíferos son heterogéneos



Geología de la Cuenca: (vista de perfil)

6 Capas del Modelo:

- Alluvium
- Alluvial Confining Unit
- Upper Aromas
- Aromas Confining Unit
- Lower Aromas
- Purisima

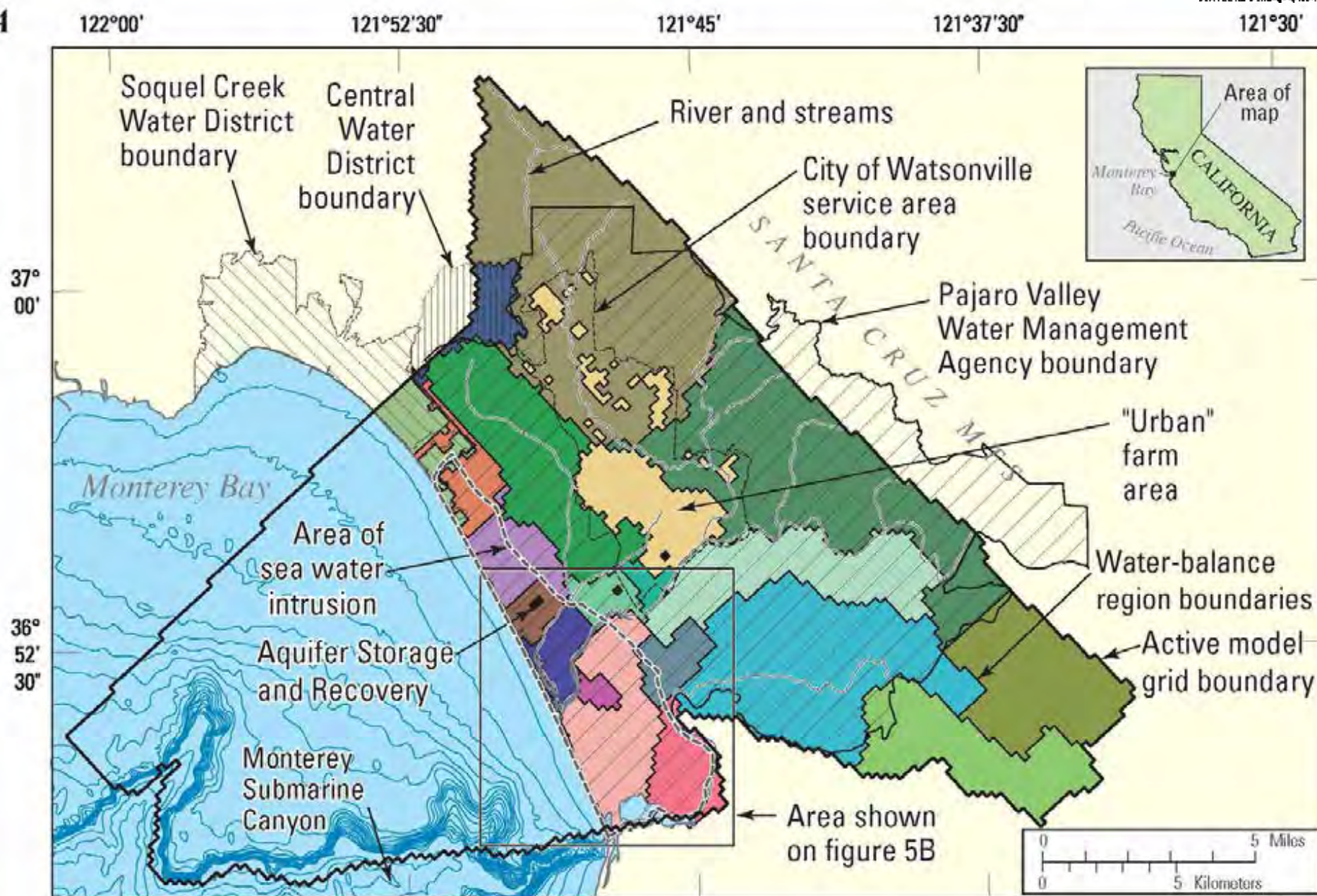




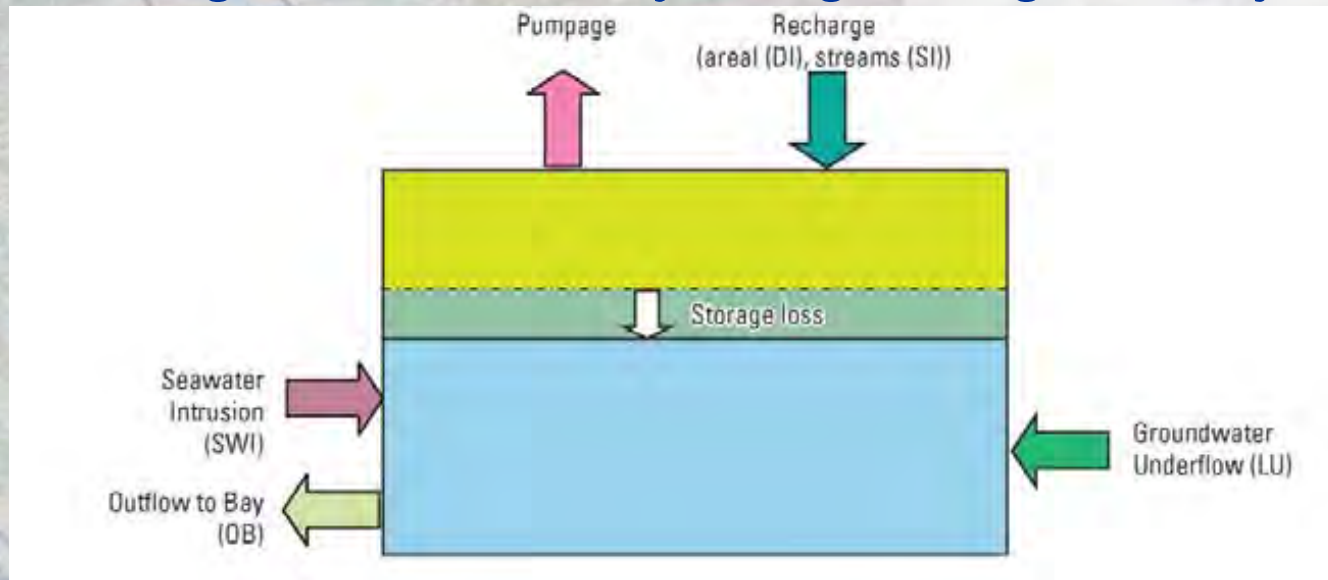
Mi Presentacion Hoy

- Descripción del problema de abastecimiento de agua
- Resumen de la metodología del modelo y de modelado
- **Balance Hydrologico y Análisis de Sostenibilidad**
- Descripción de Gestión de la Cuenca y Plan de Recarga Artificial
- Resumen de Simulación de Recarga Artificial / Reuso de Agua
- Resumen de la Futura Proyección con Recarga y Reuso
- Posibles aplicaciones futuras del modelo y las limitaciones

El Valle de Pajaro subdivide entre grupos de regiones de balance
hidrológicos de aguas subteraneas de modelos → Análisis balance
hidrológico de zonas seperados y del Valle total



Selected Range of Simulated Hydrologic Budget for Pajaro Valley



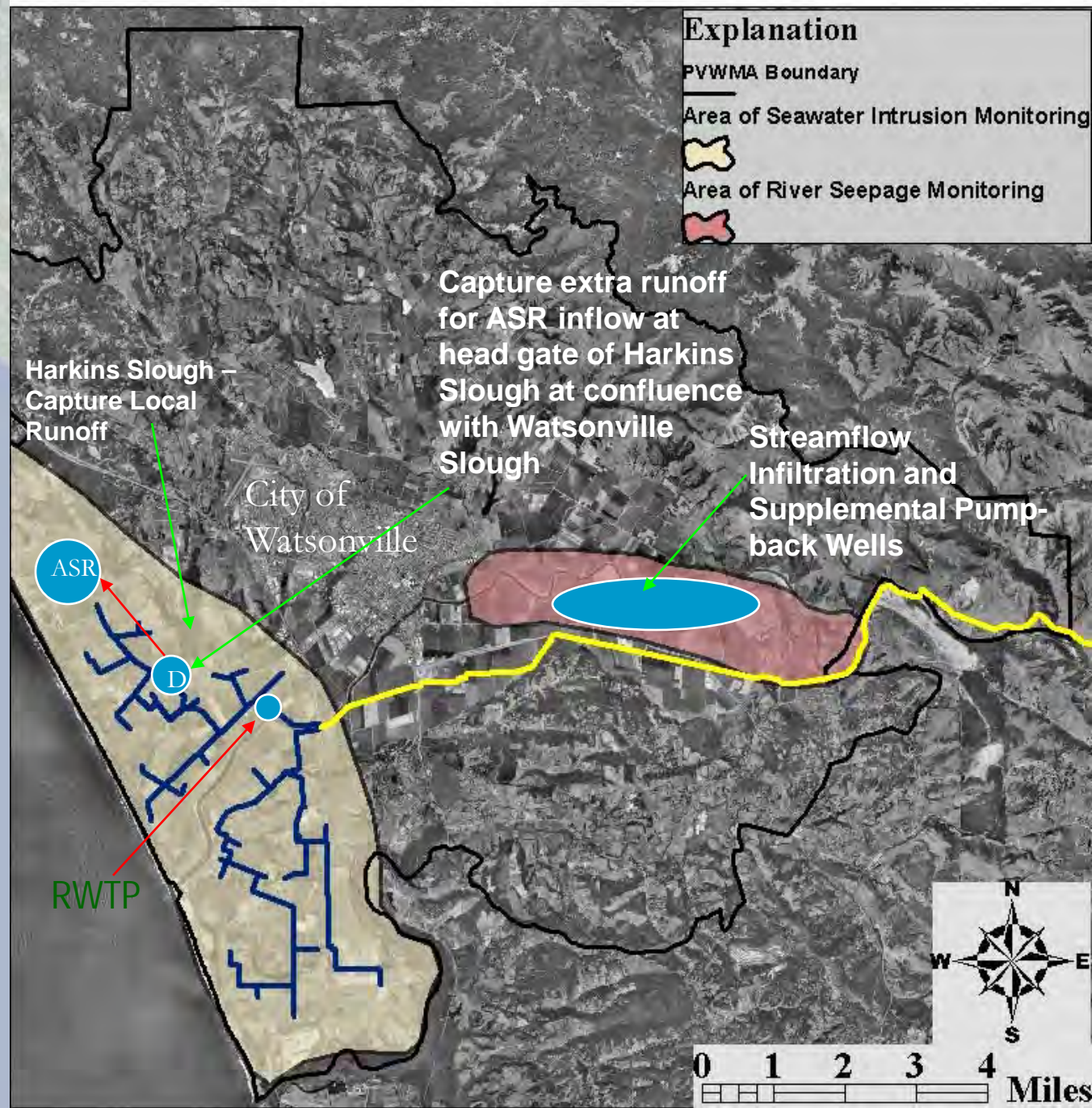
Source	PVHM	PVHM
Time Period (Water Years)	1998 (Wet)	2003 (Dry)
Inflows:		
Landward Underflow(LU)	8,390	9,540
Net Direct Infiltration (DI)	39,700	28,710
Streamflow Infiltration (SI)	25,030	17,319
Total Recharge (DI+SI):	64,730	46,030
Total Onshore Inflows:	73,120	55,570
Outflows:		
Onshore Storage Depletion:	-23,310	-260
Onshore Storage Depletion as SWI	4,390	5,420
Outflow to Bay (OB)	2,760	0
Pumpage:	50,000	60,000
Total Discharge:	33,840	65,160
Inflows – Outflows =	-39,280	9,590



Mi Presentacion Hoy

- Descripción del problema de abastecimiento de agua
- Resumen de la metodología del modelo y de modelado
- Balance Hydrologico y Análisis de Sostenibilidad
- Descripción de Gestión de la Cuenca y Plan de Recarga Artificial
- Resumen de Simulación de Recarga Artificial / Reuso de Agua
- Resumen de la Futura Proyección con Recarga y Reuso
- Posibles aplicaciones futuras del modelo y las limitaciones

El Sistema de entrega en la costa (CDS) de proyecto BMP



El Sitio de Recarga Artificial

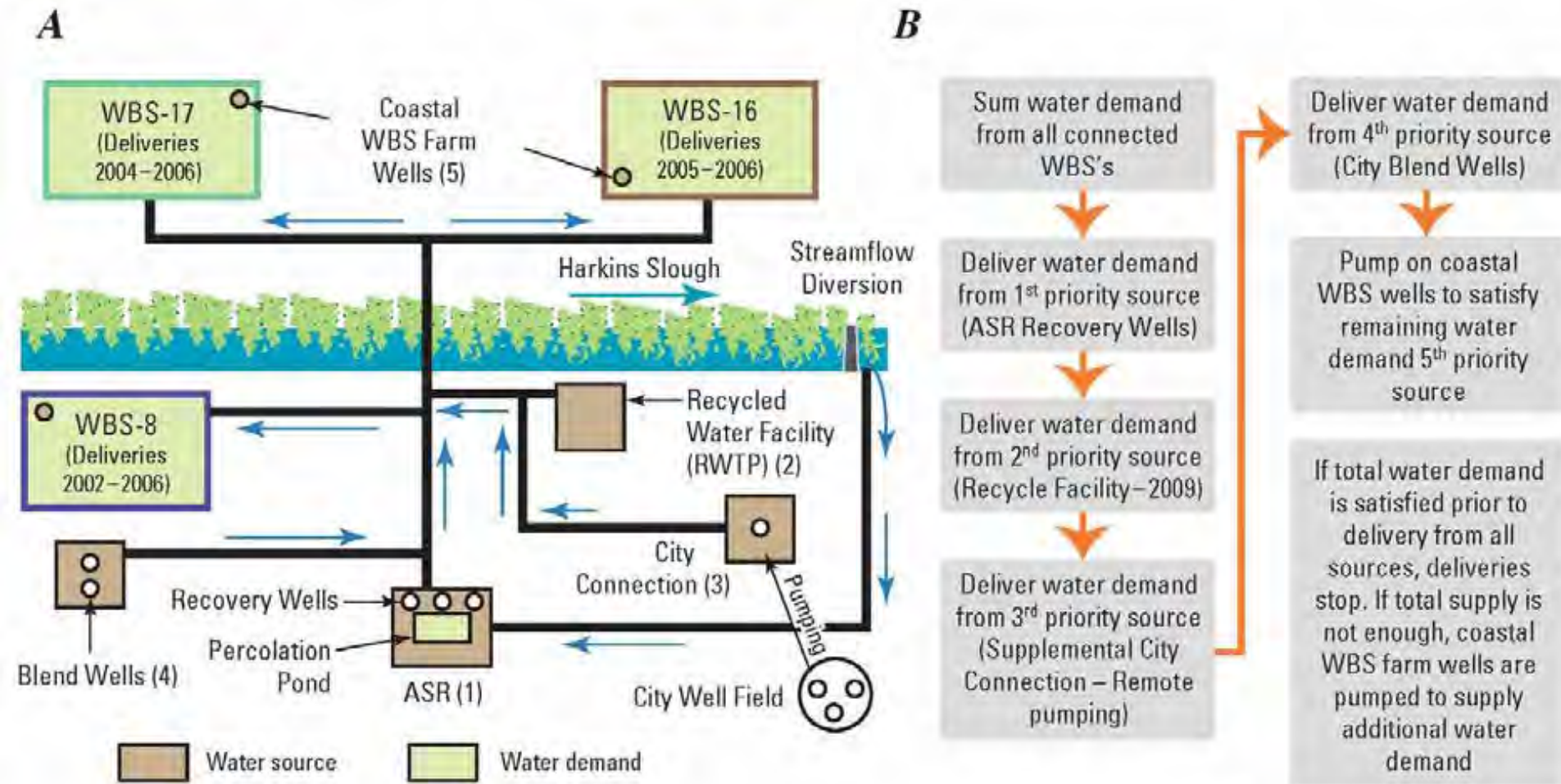




Mi Presentacion Hoy

- Descripción del problema de abastecimiento de agua
- Resumen de la metodología del modelo y de modelado
- Balance Hydrologico y Análisis de Sostenibilidad
- Descripción de Gestión de la Cuenca y Plan de Recarga Artificial
- **Resumen de Simulación de Recarga Artificial / Reuso de Agua**
- Resumen de la Futura Proyección con Recarga y Reuso
- Posibles aplicaciones futuras del modelo y las limitaciones

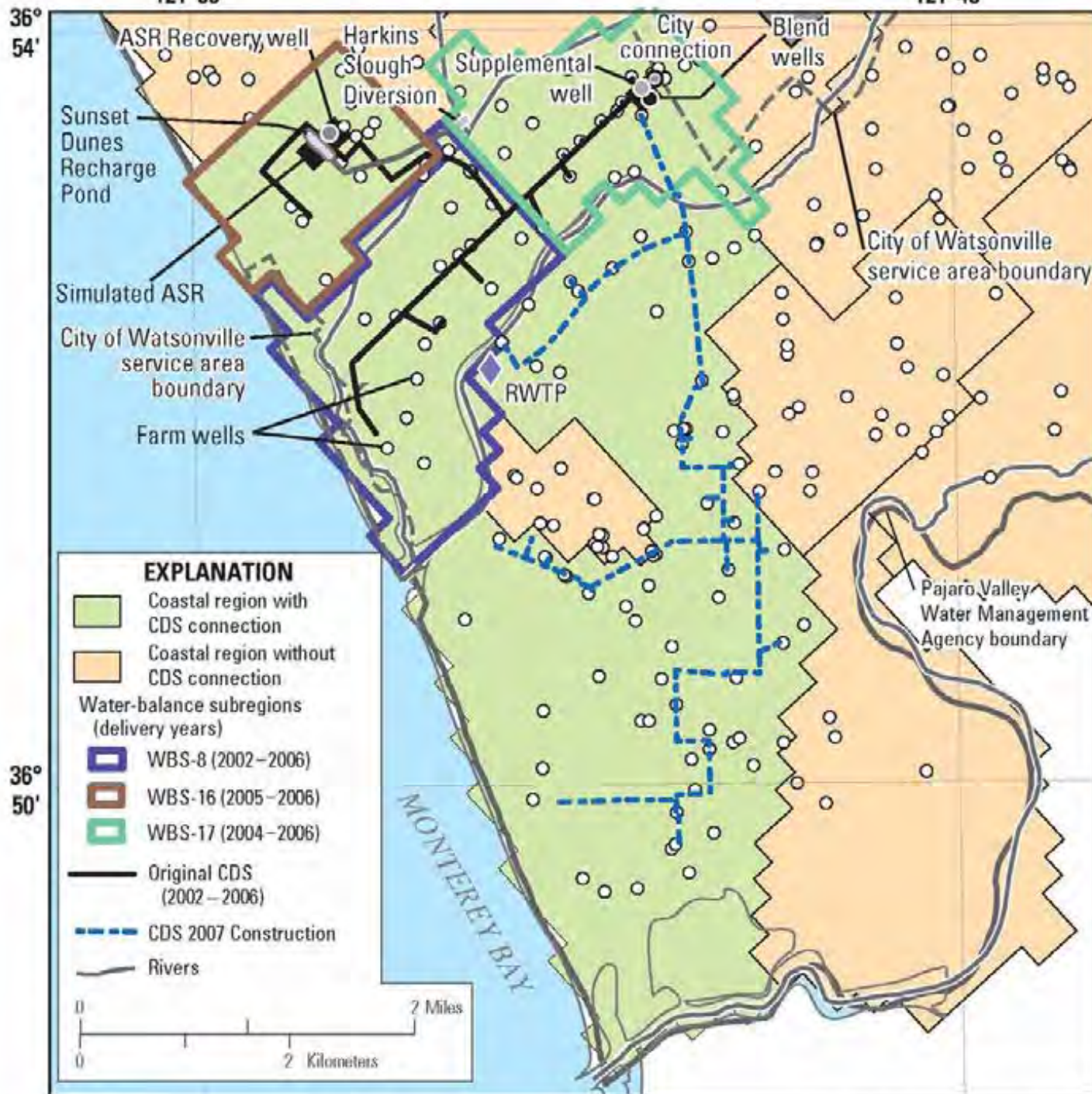
Simulación de ASR y CDS Proyectos en el Modelo

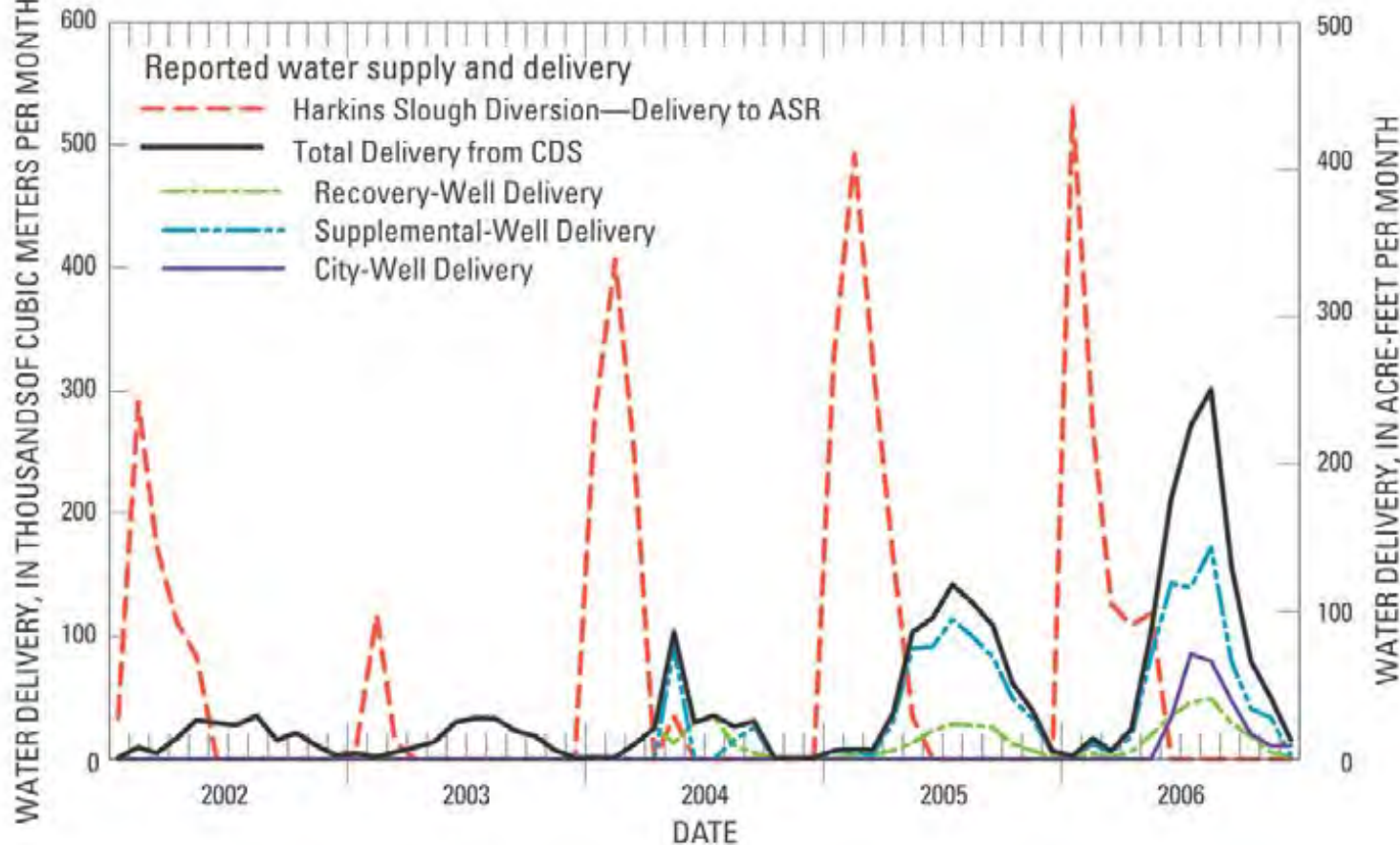


Modified from Hanson et al., 2008

Diagrama que muestra (A) estructura de las entregas locales y (B) la jerarquía de la orden de funcionamiento de la ASR and CDS las entregas como parte de la simulación del uso conjunto por Modflow con El Proceso de Granja (MF-FMP) enter el Valle de Pajaro Valley, California.

Los Sistemas Coastal de ASR y CDS





Las entregas de Harkins Slough → 4.3 Million m³ (3,470 af) → Up to 2,000 afy

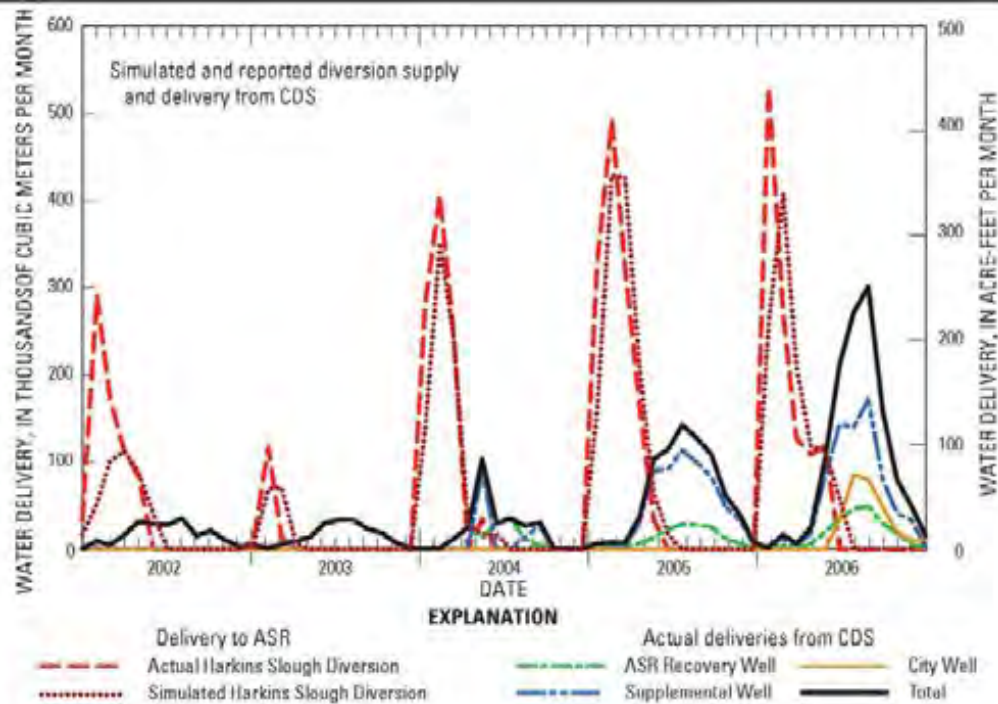
ASR → CDS entregas → 2.6 Million m³ (2,100 ac-ft) → 61% de agua total entrega al ASR

CSD Capacidad potencial → 8.8 million m³ (7,150 af) → Hasta 16% de 54.6 million m³ (44,230 acre-ft) bombeo de agricola 2004-08

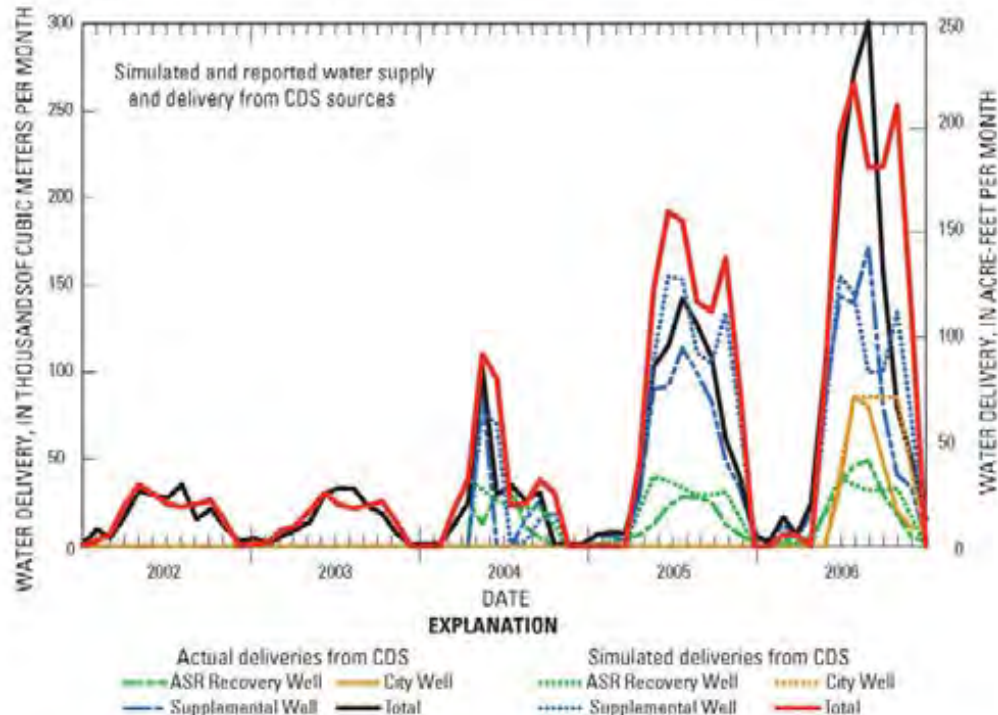
ASR entregas → 21% de agua recarga y 35% de entregas de CDS

Lo hace recarga local con el operación del ASR

A



B



Comparación de los componentes de entregas Declaradas y Simulación de CDS

Rendimiento de los Componentes de ASR and CDS

Gráficos que muestran:

- (A) la distribución temporal de los aguas superficiales limitada oferta y las entregas declaradas.
- (B) Demanda desde los múltiples Granjas que necesisita entregas de agua en la simulación de ASR y CDS esta parte del simulación de uso conjunto por MODFLOW con el Proceso de Granja entre el Valle de Pajaro, California.



Mi Presentacion Hoy

- Descripción del problema de abastecimiento de agua
- Resumen de la metodología del modelo y de modelado
- Balance Hydrologico y Análisis de Sostenibilidad
- Descripción de Gestión de la Cuenca y Plan de Recarga Artificial
- Resumen de Simulación de Recarga Artificial / Reuso de Agua
- **Resumen de la Futura Proyección con Recarga y Reuso**
- Posibles aplicaciones futuras del modelo y las limitaciones

Caso Base Escenario: Objetivo

Determinar la Balance Hydrologico de la cuenca (la sobreexplotación) con una simulación por la futura, solamente con los proyectos de la Agencia que existen en la actualidad ahora

Caso Base Escenario: Supuestos

- Entregas con CDS hasta 7,150 afy.
- Uso de la tierra (agrícola y urbano) no cambio (uso 2009)
- El bombeo de Municipal & residencil rurales no cambio (uso 2009)
- Las variaciones en las condiciones climáticas locales para el proximo 34 años será similar a los últimos 34 años.

Caso Base Escenario: Resultados Preliminares

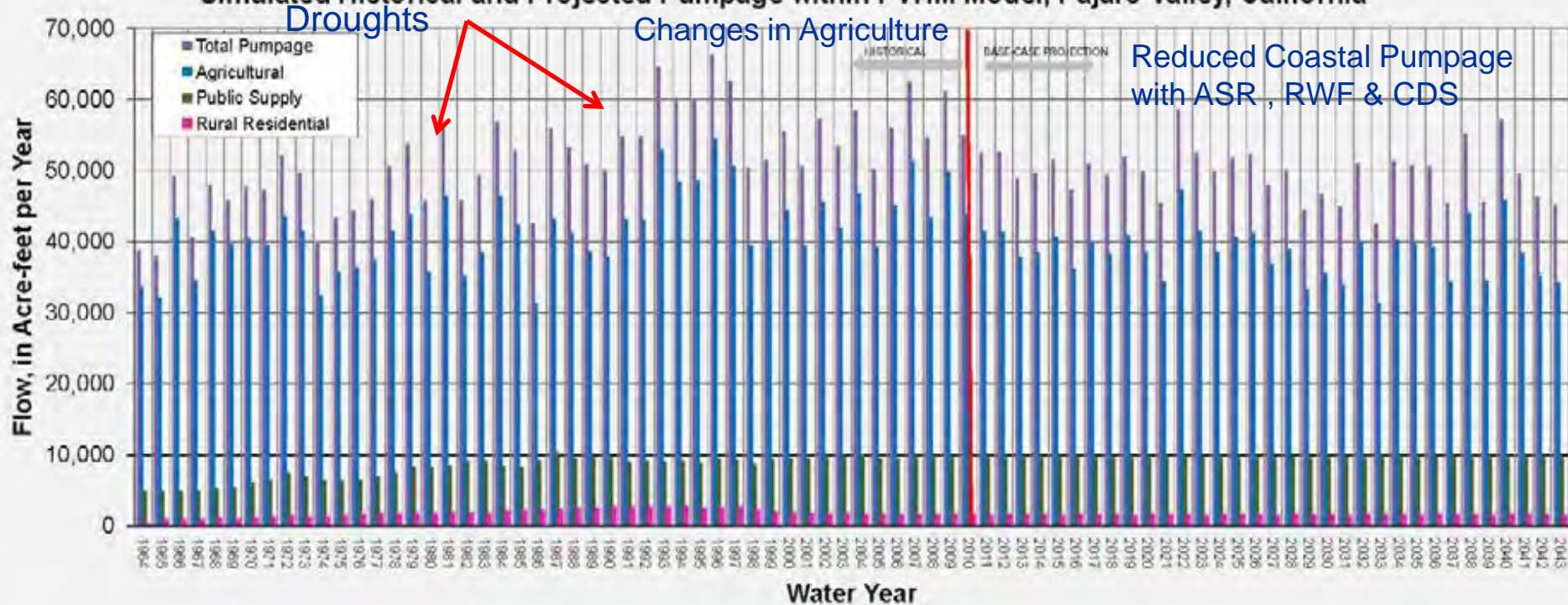
- Existing projects cause a reduction in sea water intrusion, but not a cessation.
- Wet years result in some recharge (2,500 AF).
- Dry years result in overdraft (-22,500 AF).
- **Average shortfall is 12,000 acre-feet per year for the Base-Case future projection simulation period.**

Que Representa sobreexplotacion

- Estimate the volume of additional water supplies needed to balance the water budget. (Does not include extra needed to recover the basin!!)
- Average shortfall of 12,000 acre-feet
- Project delivery of 7,150 acre-feet
- Shortfall plus Delivered Water is comparable to supplies needed as stated by the 2002 BMP 18,500 acre-feet of total additional supply.

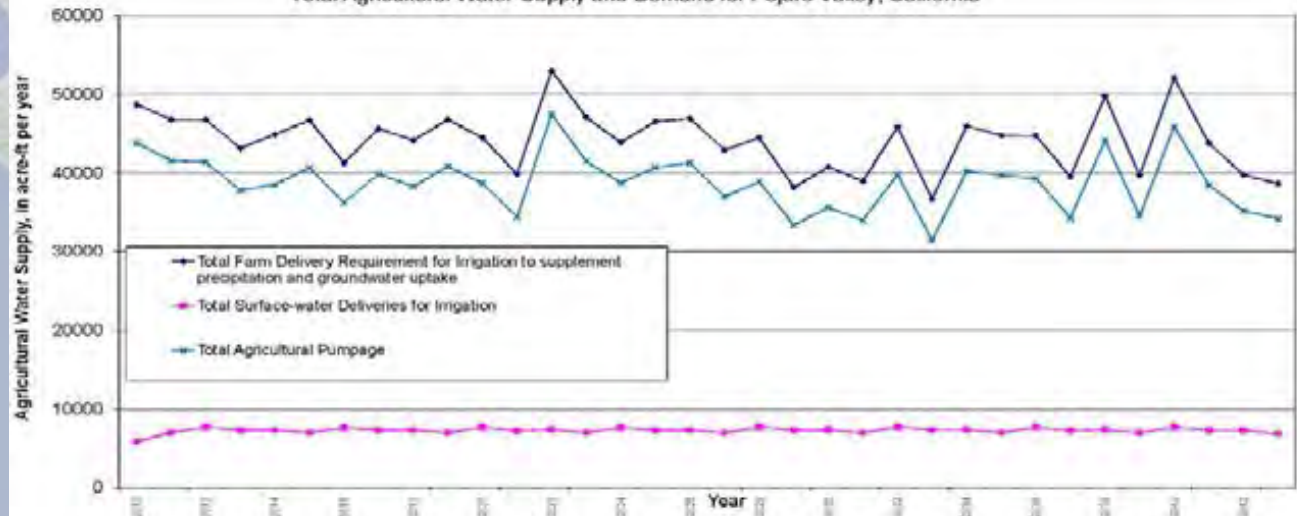
Historical (46 yrs) y Futura (34 yrs) Simulacion de Bombeo

Simulated Historical and Projected Pumpage within PVHM Model, Pajaro Valley, California



El Proceso de Granja hace Proyecciones de Demanda Total para agua de Irrigacion

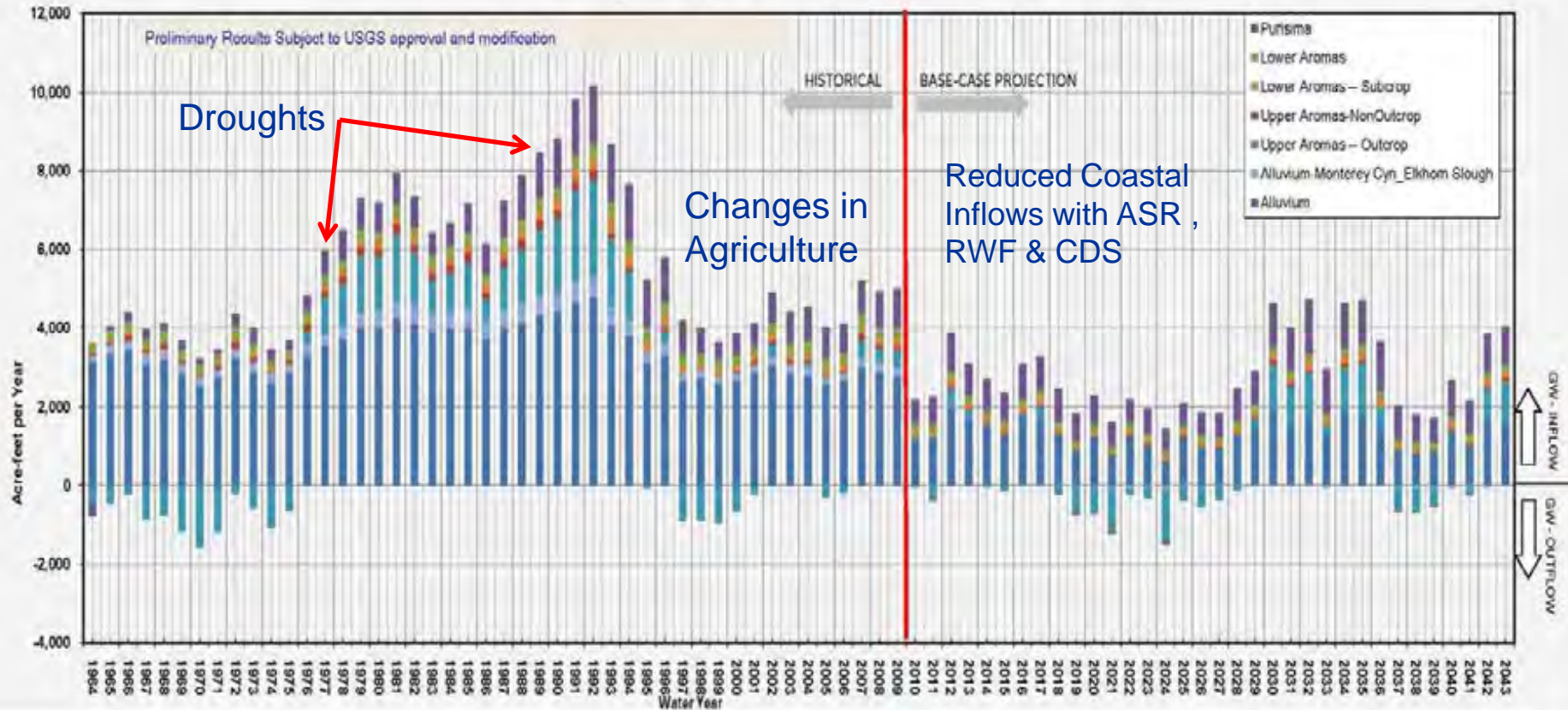
Total Agricultural Water-Supply and Demand for Pajaro Valley, California



Historical (46 yrs) y Futura (34 yrs) Simulación de Flujos entre La Costa



Net Annual Simulated Coastal Flow by Model-Layer Subregions, for Historical (1964-2009) and Base Case Projection (2010-2044) PVHM Model, Pajaro Valley





Mi Presentacion Hoy

- Descripción del problema de abastecimiento de agua
- Resumen de la metodología del modelo y de modelado
- Balance Hydrologico y Análisis de Sostenibilidad
- Descripción de Gestión de la Cuenca y Plan de Recarga Artificial
- Resumen de Simulación de Recarga Artificial / Reuso de Agua
- Resumen de la Futura Proyección con Recarga y Reuso
- Posibles aplicaciones futuras del modelo y las limitaciones

Trabajo Futura

- Desarrollo de Gestión de agua escenarios para simulaciones para estimacion de BMP processo.
- BMP Uso Conjunto Reanalysis → Incluir otras proyectos para mas entregas (No Entregas External de la Cuenca!)
 - Surface Storage → College Lake, other Sloughs
 - Relocation of Pumpage → Back-basin supplemental wells
 - More ASRs → above Murphys Crossings, Local Managed Recharge on each Farm
 - Additional RWF deliveries → Sloughs or ASRs
 - Additional Winter Streamflow Diversions for Municipal Supplies
- Analisis de sostenibilidad con Optimizacion de Agricola and Municipal Uso de Agua por MF-FMP y Groundwater Management Process (GWM)



CONCLUSION → MODFLOW con el Proceso de Granja (MF-FMP) hace simulación de ASR y CDS simulación de ASR y CDS and Analsis de Uso Conjunto con la Recarga Artificial Aquiferos (ASR) y Reuso de Agua (RWF) para Reducir Bombeo cerca de la Costa y hace mas Sostenibilidad

Gracias por su atención
Preguntas o comentarios?



CONJUNCTIVE USE → GROUND-WATER SUSTAINABILITY = STRAWBERRY FIELDS FOREVER ??



Other Potential Uses of PVHM

Climate Change Analysis of Coastal Watershed (USGS Climate Change Project)/Dynamical Downscaling (NASA Climate-In-A-Box) → include increased seawater intrusion and coastal flooding from sea-level rise of about 1 meter in 21st Century

Linkage to Watershed Precipitation-Runoff Model for better estimates of capturing local runoff from adjacent Mountains

Development of Remote Sensing Tools for Monthly Kc's, Land Use, and ETact (OBS) (USGS GWA Project with EROS)

Boundary Flows for Subregional Model (ASR-CDS subregion) and Harkins Slough-RWF Storage-ASR linkage

Linkage to adjacent Models to north and south of Pajaro Valley (SCWD or MCWRA)

Potential Limitations of PVHM

Not Intended for Irrigation Scheduling

Not for Local or Small-Scale (~1-8 cells? With each cell about 15 acres) types of analysis

Less reliable for monthly analysis until more detailed land use applied to model input

Less reliable for simulation of historical CDS without information on pumping rates and hours, etc. (Demand Driven Simulation) – Better for forecasting potential deliveries

Density-Dependent Flow of Seawater Intrusion

Potential Steps towards Sustainable Yield Analysis

- (1) Develop a modified concept or definition for Pajaro Valley
- (2) Spatial and temporal extent of sustainable yield
- (3) Delineate related impacts that occur when sustainable yield is exceeded
- (4) Develop policy that would help adapt or mitigate overdraft
- (5) Develop metrics for assessing mitigation/adaptation from field data and PVHM model analysis

Key Points / Questions

- Spatial scope of sustainable yield should be basin-wide; and the model should simulate sustainable yield taking into account all existing projects.
- Sustainable yield can be measured by monitoring water levels throughout the basin, and to a lesser extent, monitoring water quality and water use.
- How long will it take the basin to recover at some sustainable level of pumping (based on model simulations).
- How exactly should recovery be defined here?
 - Pumping that does not cause additional seawater intrusion, or
 - Pumping such that a seaward gradient can be established and reverse the flow of seawater intrusion?

BASIN MANAGEMENT STRATEGY

- Pajaro Valley Water Management Agency (PVWMA) developed a Basin Management Plan (BMP) designed to balance water supply and demand through the acquisition of supplemental water and conservation practices.
- Reduce current annual overdraft → new programs for increasing conservation, improving efficiency of water use, and developing additional local sources of water.
- The “Modified BMP 2000 Alternative” final strategy adopted by PVWMA Board of Directors included five major projects and programs:
 - 1) Distribution → CDS pipelines (>7,600 acre-feet capacity),
 - 2) Reuse → Recycled Water Project (6,000 acre-feet of recycled urban waste water),
 - 3) Local Capture & Artificial Recharge (ASR) → Harkins Slough Recharge Project (600,
 - 4) Import Water → Pipeline (54-inch) Project (11,900 acre-feet of imported supply) with local ASR, and
 - 5) Water Conservation Program (PVWMA, 2007).
- As part of the BMP, a CDS was constructed to supply recycled water and water recovered from the Harkins Slough ASR. This ASR was designed to percolate, store, and recover water supplied to the ASR by a diversion of local runoff from Harkins Slough. Water from Recycled Water Project and other supplemental wells also delivered through CDS to supply the agricultural water demand.
- The Farm Process for MODFLOW (Schmid et al., 2006, 2009) used to simulate these supply and demand components and can help water managers assess the impact of the various components of the BMP on the mitigation of the groundwater system overdraft.
- A regional hydrologic model, PVHM, was developed to provide managers with this tool. Delivery priorities are simulated and can be modified on a monthly basis to evaluate different scenarios of priority deliveries.